

**Beitrag zur Bestimmung von Abminderungsfaktoren  
bei der Überlagerung von Geschößlasten mit Berücksichtigung  
ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilungen**

Von der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der  
Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus zur Erlangung des  
akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation

vorgelegt von  
Diplom-Ingenieur  
Ndudzo, Phineas  
aus Masvingo / Zimbabwe

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Karl Raboldt

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Spaethe

Tag der Disputation: 30. 08. 2000

[Contents](#)

[Inhaltsverzeichnis](#)

## **Vorwort:**

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Baumechanik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Ich danke insbesondere Herrn Professor Raboldt und Herrn Professor Spaethe für die Unterstützung während der Ausarbeitung und zahlreiche Anregungen.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Professor Avak, der seine Bereitschaft erklärt hat, den Vorsitz des Promotionsausschusses zu übernehmen. Ich möchte meinen Kollegen, Herrn Dr.-Ing. Jantschke, Herrn Dr.-Ing. Wolf, Herrn Dipl.-Ing. Jurrmann, Frau Hoefig, Frau Raatz, die immer hilfsbereit waren, einen herzlichen Dank zu sagen.

Zuletzt - persönlich jedoch an erster Stelle - möchte ich meiner Frau Alice und meine Töchtern Yvonne, Sarah und Julia dafür danken, daß sie für die Nöte eines Doktoranden immer Verständnis aufbrachten.

Cottbus, November 2000

Phineas Ndudzo

## **Kurzfassung**

In der Arbeit werden Abminderungsfaktoren für Stützenlasten in Geschösbauten mit der Methode der Zuverlässigkeitstheorie bestimmt. Die Berechnung erfolgt für Bürogebäude, Wohngebäude und Hotelgebäude.

Die Lastprozesse werden durch Monte-Carlo-Simulation erfaßt. Das Lastmodell wird durch je einen Dreiparameterpulsprozeß für Langzeit- und Kurzzeitlasten charakterisiert. Die Zufallsgrößen sind die Lasthöhen, die Zeitpunkte der Lasteintragung und die Lastdauer. Auf den Bezugsflächen werden Nutzlasten als gleichförmig verteilt angesetzt.

Zwei Dreiparameterprozesse der Langzeit- und Kurzzeitlasten werden simuliert. Dann erfolgt die Superposition der zwei Dreiparameterprozesse. Aus den je Tag superponierten Lastwerten, werden die jährlichen Extremwerte ausgesucht. Diese jährlichen Extremwerte werden statistisch ausgewertet und charakteristische Werte (98 %-Quantilwerte) berechnet, die mit den charakteristischen Werte nach dem Eurocode 1 und der DIN 1055 verglichen werden. Für den Mittelwert und die Standardabweichung der Lasten wird eine Parametervariation durchgeführt.

Bei der Berechnung der Stützenlasten wird ein Tragwerksmodell aus Deckenplatten auf dehnstarrten Pendelstützen verwendet. Die Berechnung mit der FE-Methode erfolgt auf linear elastischer Grundlage.

In der Beziehung zur Berechnung von Abminderungsfaktoren werden die wirksame Anzahl von Geschossen sowie der wahrscheinlichkeitscharakter der Lastprozesse berücksichtigt. Zur Simulation der Lastprozesse wird die Monte-Carlo-Methode verwendet. Für jede Bezugsfläche werden Lastprozesse der Langzeit- und Kurzzeitlasten simuliert. Langzeit- und Kurzzeitlasten, die zum gleichen Zeitpunkt auftreten, werden auf das Tragwerk angesetzt und die daraus resultierenden Stützenlasten berechnet. Jährliche Extremwerte der Stützenlasten werden ausgesucht und die charakteristischen Werte (98 %-Quantilwerte) sowie die Abminderungsfaktoren für die verschiedenen Variantenuntersuchungen und Nutzungen bestimmt. Die ermittelten Abminderungsfaktoren werden mit denen nach EC 1 verglichen.

Der Einfluß der Lastparameter (Mittelwert, Standardabweichung) auf die Abminderungsfaktoren wird durch Parametervariation untersucht.

## **Abstract**

In the dissertation, storey dependant reduction factors for column loads in office buildings and residential buildings are verified with probability based methods.

The load model comprises a renewal process, which is characterised by three variables, namely, the load intensity, the load duration and the point in time of the application of the load. The distribution of the load on the tributary areas is assumed to be uniform. For the simulation of the quasi-permanent and the short-term load processes, the Monte-Carlo Method is used.

Since the normal imposed loads are characterised by the fact that the quasi-permanent and the short-term load parts occur jointly, the two load processes are superimposed. From the superposition annual extreme values are extracted over a reference period of 10000 years. Statistical parameters of the extreme values are evaluated and characteristic values of the normal imposed loads calculated. These characteristic values are compared with those of Eurocode1 and DIN 1055. A parameter analysis is carried out whereby the mean values and the standard deviations of the quasi-permanent loads are varied.

The finite-element concept is used to discretize the structure. Linear elastic behaviour is assumed.

A formula for calculating the storey dependent reduction factors is derived. Renewal processes for the quasi-permanent and short-term loads are simulated. Loads occurring at the same time are imposed on the tributary areas of the structure. Column loads are then calculated. Annual extreme values of column loads are extracted and statistically evaluated. From the characteristic values of the column loads, storey dependent reduction factors for office and residential buildings are calculated and compared with those of Eurocode 1 and recommendations are made.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bezeichnungen</b>	.....
<b>1 Einführung</b>	
1.1 <a href="#">Zielstellung</a>	.....
1.2 <a href="#">Lösungsweg</a>	.....
1.3 <a href="#">Annahmen</a>	.....
<b>2 Bestimmung der charakteristischen Werten von Nutzlasten</b>	
2.1 <a href="#">Statistische Informationen über Nutzlasten im Geschoßbau</a>	.....
2.2 <a href="#">Aufbereitung der Daten für die Untersuchung</a>	.....
2.2.1 <a href="#">Verteilungsfunktion der Nutzlasten</a>	.....
2.2.2 <a href="#">Lastgrößen</a>	.....
2.3 <a href="#">Modellierung von Nutzlasten durch Erneuerungsprozesse</a>	.....
2.4 <a href="#">Berechnung von Parametern der Stützenlasten mit der Momentenmethode</a>	.....
2.5 <a href="#">Erforderliche Anzahl von jährlichen Extremwerten</a>	.....
2.6 <a href="#">Festlegung der Überschreitungswahrscheinlichkeit</a>	.....
2.7 <a href="#">Rechentechnische Umsetzung</a>	.....
2.8 <a href="#">Berechnungen und Ergebnisse zu charakteristischen Werten der Nutzlasten</a>	.....
2.8.1 <a href="#">Berechnung der charakteristischen Werte von Bürolasten</a>	.....
2.8.2 <a href="#">Berechnung der charakteristischen Werte von Nutzlasten in Wohngebäuden</a>	.....
2.8.3 <a href="#">Berechnung der charakteristischen Werte von Nutzlasten in Hotelzimmer</a>	.....
2.8.4 <a href="#">Fehleruntersuchung zur Nutzlastenermittlung</a>	.....
<b>3 Überlagerung von Nutzlasten im Geschoßbau</b>	
3.1 Abminderungsfaktoren im Geschoßbau	.....
3.1.1 <a href="#">Stand in der EU-Normung</a>	.....
3.1.2 <a href="#">Vorgehen auf stochastischer Grundlage</a>	.....
3.2 <a href="#">Probabilistisches Modell für die Nutzlasten</a>	.....

3.3	<a href="#"><u>Mechanisches Modell zum Tragwerk</u></a> .....
<b>4</b>	<b>Voruntersuchungen zu Einflüssen auf die Abminderungsfaktoren</b> .....
4.1	Einfluß der Systeme und der Stützenposition.....
4.1.1	<a href="#"><u>Deckensysteme</u></a> .....
4.1.2	<a href="#"><u>Einfluß der geometrischen Lage der Stützen im Grundriß</u></a> .....
4.2	<a href="#"><u>Einfluß des Variationskoeffizienten auf die Abminderungsfaktoren</u></a> .....
4.3	<a href="#"><u>Einfluß der Anzahl der unabhängigen Nutzlasten je Bezugsfläche</u></a> .....
4.4	<a href="#"><u>Einfluß der Überschreitungswahrscheinlichkeit auf die Abminderungsfaktoren</u></a> .....
4.5	<a href="#"><u>Vorabschätzen des Einflusses der Zeitabhängigkeit der Nutzlasten auf die Abminderungsfaktoren</u></a> .....
4.6	<a href="#"><u>Schlußfolgerungen</u></a> .....
<b>5</b>	<b>Ermittlung von Abminderungsfaktoren</b> .....
5.1	<a href="#"><u>Einfluß der Erneuerung der Kurzzeitlasten auf die Abminderungsfaktoren</u></a> .....
5.2	<a href="#"><u>Einfluß der mittleren Einwirkungsdauer der Dauerlasten auf die Abminderungsfaktoren</u></a> .....
5.3	<a href="#"><u>Einfluß der Wiederholungsperiode der Stützenlasten auf die Abminderungsfaktoren</u></a> .....
5.4	<a href="#"><u>Abminderungsfaktoren für Bürogebäude</u></a> .....
5.5	<a href="#"><u>Abminderungsfaktoren für Wohngebäude</u></a> .....
5.6	<a href="#"><u>Abminderungsfaktoren für Hotelgebäude</u></a> .....
5.7	<a href="#"><u>Fehlerempfindlichkeit hinsichtlich von Lastparametern</u></a> .....
<b>6</b>	<b><a href="#"><u>Schlußbemerkungen</u></a></b> .....
	<a href="#"><u>Literatur</u></a> .....
	<a href="#"><u>Anhang 1</u></a> .....
	<a href="#"><u>Anhang 2</u></a> .....
	<a href="#"><u>Anhang 3</u></a> .....

## Verzeichnis der wichtigsten verwendeten Symbole

$\psi$	Kombinationsbeiwert
$\alpha$	Abminderungsfaktor
$\mu$	Mittelwert
$\sigma$	Standardabweichung
$n$	Anzahl von Geschossen
$F_k$	charakteristischer Wert
$c_i$	Übertragungsfaktoren
$Y_i$	Last
$V$	Variationskoeffizient
$\Phi$	Standardfunktion der Normalverteilung
$P_{\bar{u}}$	Überschreitungswahrscheinlichkeit
$T$	Bemessungszeitraum
$\gamma_f$	Lastfaktor
$A$	Fläche
$m_{(.)}$	Mittelwert
$E[.]$	Erwartungswertoperator
$f(.)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
$Var(.)$	Varianz
$Cov$	Kovarianz
$LN$	Logarithmische Normalverteilung
$q$	Nutzlast
$D_{an}$	Einwirkungsdauer der Nutzlast
$D_{aus}$	Die Zeit, in der die Nutzlast ausgesetzt ist
$E$	Elastizitätsmodul
$I_{(.)}$	Flächenträgheitsmoment
$v$	Querdehnzahl
$G$	Schubmodul
$m$	Anzahl der Bezugsflächen auf einer Deckenfläche
$r$	Anzahl der Nutzlasten einer Bezugsfläche

# 1 Einführung

## 1.1 Zielstellung

Seit den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts vollzieht sich ein Übergang in den Berechnungsvorschriften vom globalen Sicherheitsbeiwert bzw. von den zulässigen Spannungen zur Methode der Grenzzustände mit differenzierten Teilsicherheitsbeiwerten. Sie bildet auch eine Grundlage der Eurocodes für den Konstruktiven Ingenieurbau.

Die Sicherheitsanforderungen sind erfüllt, wenn die Beanspruchungen  $S$  infolge der Einwirkungen  $F$  kleiner sind als die zugehörigen Beanspruchbarkeiten  $R$ . Sind mehrere veränderliche Einwirkungen zu berücksichtigen, so wird durch Kombinationsbeiwerte  $\psi$  erfaßt, daß die Einwirkungen kaum gleichzeitig ihre Extremwerte erreichen werden.

Ende der siebziger Jahre haben sich Richard D. Larrabee, A. M. und C. Allin Cornell [38] und Wen, Y. K. [64] mit der Niveaufkreuzungsrate von Einwirkungskombinationen (Lastkombinationen), statistische Überlagerung der Extremwerte von Einwirkungen sowie der Wahrscheinlichkeit der Überlagerung von Extremwerten von Einwirkungen beschäftigt, vgl. auch [20] und [58].

Die Kombinationsbeiwerte  $\psi$  sind systemunabhängig. Es gibt Tragwerke, bei denen sich die Überlagerung aus dem System ergibt. Ein "klassisches " Beispiel dafür sind die Stützenlasten infolge Nutzlasten im Geschoßbau. Da Geschoßbauten häufig ausgeführt werden, existieren seit ca. 100 Jahren Überlegungen und Regeln zur Abminderung der Stützenlasten in Abhängigkeit von der Anzahl der Geschosse.

Auch in der ENV 1991-2-1 [84] findet sich die Festlegung:

" 6.2.2:

- (1) Für die Bemessung von Stützen und Wänden, die als vertikale Bauteile Lasten aus mehreren Stockwerken aufnehmen, müssen die Lasten jedes einzelnen Stockwerkes als gleichförmig verteilt angenommen werden (ortsfeste Einwirkungen).
- (2) Wenn Nutzlasten aus mehreren Stockwerken maßgebend sind, dürfen die Lasten mit einem Faktor  $\alpha_n$  nach den Abschnitten 6.3.1.2 (4) abgemindert werden."



"6.3.1.2 (4):  $\alpha_n = \frac{2 + (n-2) \cdot \psi_0}{n}$  mit  $n > 2$  und  $\psi_0$  ist ein Beiwert nach ENV 1991-1

"Grundlagen der Tragwerksplanung"

$n$  Anzahl der Geschosse oberhalb des belasteten Bauteils."

Diese Festlegung, die auf Überlegungen zur Wahrscheinlichkeit beruht, ist aus einem pragmatischen Normenvergleich hervorgegangen [18].

[9], [11], [20], [34] und [49] haben sich auch mit diesem Problem beschäftigt.

Ziel dieser Arbeit ist es, Abminderungsfaktoren für Stützenlasten von Geschoßbauten mit Hilfe der Zuverlässigkeitstheorie zu bestimmen.

## **1.2 Lösungsweg**

Nutzlasten im Geschoßbau sind Zufallsfunktionen von Ort und Zeit. Das zeitliche und räumliche Auftreten der Nutzlasten hängt stark mit der Gebäudedefunktion, den sozialen Bedürfnissen der Menschen, den Umweltbedingungen (u. a. dem Klima) und den Arbeitsbedingungen der Menschen zusammen. Diese sind sehr unterschiedlich von Ort zu Ort und von Land zu Land. Die Nutzlasten, die am gleichen Tragwerk angreifen und deren Ursache und Herkunft nicht vollständig voneinander abhängig sind, sollen als verschiedene Lasten betrachtet werden.

Die Nutzlasten im Geschoßbau setzen sich aus den Anteilen aus Langzeitlasten (Dauerlasten) und Kurzzeitlasten zusammen.

Die Dauerlasten umfassen Lasten u.a. aus Personen, Einrichtungsgegenständen und Lagergut. Die Kurzzeitlasten werden durch Renovierungen, Menschenansammlungen, Umzüge und Notfallsituationen (Feuer) verursacht.

Wie schon erwähnt, streuen die Dauerlasten und Kurzzeitlasten. Die Bestimmung der anzusetzenden charakteristischen Werte für die Berechnung von Geschoßbauten erfordert die Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit und die Streuung dieser Nutzlasten. Werden Stützenlasten berechnet, müssen die Langzeitlasten und Kurzzeitlasten überlagert werden.

Die Extremwerte dieser Nutzlasten treten nicht zum gleichen Zeitpunkt an ungünstigsten Stellen auf. Außerdem ist der Extremwert der Summe von Nutzlasten kleiner als die Summe der Extremwerte (Anhang 3, Gleichung 1.8). Aus den genannten Gründen werden die Nominalwerte der Nutzlasten für die Bemessung von Stützen abgemindert (Anhang 3, Gleichung 1.9).

Für die Stützen ist vom zeitlichen Verlauf der zugehörigen Stützenlasten nur der Extremwert innerhalb vom 1 Jahr von Interesse. Auf dieser Grundlage werden Stützenlasten als Zufallsgrößen mit Extremwertverteilung dargestellt. Die Beziehungen zwischen dem Extremwert der Stützenlast, Nutzungsdauer und Überschreitungswahrscheinlichkeit des Extremwertes werden aufbereitet. Mit dieser Voraussetzung wird die Beziehung zur Bestimmung von Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von der Geschoßanzahl hergeleitet.

Als Grundlage für die Bestimmung der Abminderungsfaktoren werden Meßergebnisse von [14], [93], [101] und [131] verwendet, die im Abschnitt 2 aufbereitet und ausgewertet werden. Dabei werden die Parameter und Verteilungsfunktion sowie die Zeitabhängigkeit der Nutzlasten konkretisiert.

Zur Beschreibung des zeitabhängigen Verlaufs der Nutzlasten wird ein dreiparametrischer Pulsprozeß angesetzt, d.h. der Prozeß wird durch die zufällige Lastdauer, zufällige Zeitpunkte der Eintragung der Lasten und die zufällige Lastintensität charakterisiert. Die Lastprozesse werden mit der Monte-Carlo-Methode simuliert.

Zwischen der theoretischen Lastmodellvorstellung und der künftigen Realität kann keine exakte Übereinstimmung bestehen. Das Lastmodell hängt stark davon ab, wie gut die gewählten Lastparameter sind. Zur Schätzung der gewählten Lastparameter werden die dadurch resultierende charakteristische Werte (98 %- Quantile) der Extremwerte der Lastüberlagerung mit denen der DIN 1055 und EC 1 verglichen. Die sich ergebenden Abweichungen in den charakteristischen Werten infolge Lastparametervariation werden untersucht.

Im Abschnitt 3 werden die mathematischen Zusammenhänge für die Berechnung von Abminderungsfaktoren im Geschoßbau hergeleitet. Für Geschoßbauten werden das

probabilistische Modell für die Nutzlasten und das mechanische Modell des Tragwerks bereitgestellt.

Der Abschnitt 4 enthält Voruntersuchungen zur Eingrenzung hinsichtlich:

- Einfluß der geometrischen Lage der Stütze im Grundriß
- Einfluß der Anzahl von Nutzlasten je Bezugsfläche

Im Abschnitt 5 werden Abminderungsfaktoren für Bürogebäude, Wohngebäude und Hotelgebäude berechnet und mit denen nach dem Eurocode 1 verglichen. Eine Fehlerbetrachtung zu den Abminderungsfaktoren schließt diesen Abschnitt. Schlußbemerkungen im Abschnitt 6 fassen die Arbeit zusammen

### **1.3 Annahmen**

Die Geschoßdecken nehmen die vertikalen Lasten auf und leiten diese zu den Stützen (Pendelstützen), die sie an die Fundamente weitergeben. Dabei werden die vertikalen Stützen übereinander angeordnet. Eine regelmäßige Anordnung der dehnstarrten Stützen im Rechteckraster wird vorausgesetzt.

Die Abtragung der horizontalen Kräfte der Windkräfte, die durch die Scheibenwirkung der Decken und vertikal über spezielle Scheiben-, Rahmen- oder Fachwerksysteme erfolgt, wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Schneelasten werden ausgeschlossen.

Entsprechend der Grundstruktur der Nachweisführung nach der Methode der Grenzzustände, wird die Belastung bzw. Beanspruchung als von der Beanspruchbarkeit unabhängig angesehen. Für die Untersuchung wird der charakteristische Wert der Stützenlast betrachtet.

## **2 Bestimmung von charakteristischen Werte für die Nutzlasten**

### **2.1 Statistische Information über Nutzlasten im Geschoßbau**

Statistische Beobachtungen wurden u.a. im großen Umfang in den USA, Großbritannien und Ungarn durchgeführt.

Thomson, Brekke und Dunham [128] berichten über Nutzlasten in 2 Warenhäusern, 8 Fabriken und 2 Lagerhäusern für schwere Waren.

Karman [101] berichtet über die Nutzlasten von Decken bei Wohngebäuden. Dabei wurden statistische Untersuchungen an 183 Wohnungen mit 12545 m<sup>2</sup> Decken ausgewertet.

Tabelle 2.1: Nutzlasten nach Karman [101]

Anzahl der Räume	Nutzungsart	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standard- abweichung [kN/m <sup>2</sup> ]	90% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]	99% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]
830	Wohnräume	0,556	0,193	0,673	1,009
580	Büroräume	0,602	0,331	0,795	1,964
40	Kranken- hauslabore	0,579	0,260	0,761	1,271
168	Polikliniken	0,418	0,222	0,559	1,197

Die aus den Einrichtungsgegenständen stammende Dauerlast (Langzeitlasten) jeglicher Art von Nutzräumen betrug im Mittel 0,386 kN/m<sup>2</sup> für die Wohnungen. Aus der Verteilung dieser Lasten sollten mit 0,7 kN/m<sup>2</sup> (98 % Quantilwert) die Dauerlasten aus den Einrichtungsgegenständen abgedeckt werden. Der Begriff "die Dauer von Nutzlasten" wurde in Verbindung mit den folgenden Aufgaben gebraucht:

- die Bestimmung der Festigkeitsminderung, deren Ursache die Dauerlast oder die wiederholte Last sein kann,
- die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von verschiedenen Lasten und
- die Untersuchung der durch die Lasten verursachten Formänderungen und Bewegungen einschließlich der Rißöffnungen.

Unter dem Gesichtspunkt der Berechnung der Ermüdung und dauernden Formänderung schlägt Karman [101] folgendes vor:

Alle Lasten, deren Wirkungsdauer ausreichend lang ist, um den rheologischen Prozeß auszulösen, sollen als Dauerlasten betrachtet werden.

Diese Dauer ist vom Material abhängig und wird z. B. beim Stahl einige Wochen, höchstens auf zwei Monate, und beim Beton in den ersten fünf Jahren auf etwa vier Monate geschätzt.

Aus diesem Grunde schlägt er vor, Nutzlasten, die mindestens in einem Zeitraum von 5% der Lebensdauer der Konstruktion wirken, als Dauerlasten zu betrachten. Damit soll das Gewicht der Bewohner zur Dauerlast mitgerechnet werden. Die statistische Auswertung ergab einen Mittelwert von 0,556 kN/m<sup>2</sup>. Als Normwert der Dauerlasten schlägt Karman [101] 1 kN/m<sup>2</sup> (entspricht dem 98 % Quantilwert) vor.

Allerdings gelten diese Lastwerte für Belastungsflächen im Bereich bis 20 m<sup>2</sup>. Für Flächen, die größer als 20 m<sup>2</sup> sind, ist eine Abminderung vorgesehen. Die Untersuchung ergab die Gleichung (2.1)

$$q(A) = q_n - \frac{A}{400}, \quad (2.1)$$

wobei  $A$  [m<sup>2</sup>] die Belastungsfläche und  $q_n$  [kN/m<sup>2</sup>] die Normlast sind.

Die Extremwerte der Kurzzeitlasten durch Einrichtungsgegenstände treten in der Zeit der Umstellung dieser Einrichtungen auf. Die Meßwerte ergaben einen Mittelwert von 0,842 kN/m<sup>2</sup>, eine Standardabweichung von 0,26 kN/m<sup>2</sup> und einen Normwert von 1,5 kN/m<sup>2</sup> (98% Quantil). Daraus läßt sich der Mittelwert der kurzzeitigen Lasten berechnen:

$$\mu_k = 0,842 - 0,602 = 0,24 \text{ kN/m}^2.$$

Die statistischen Beobachtungen vermitteln wegen der verschiedenen Methoden und Ziele kein einheitliches Bild. Culver [14] hat z.B. die folgenden Einflußfaktoren bei seiner Untersuchung betrachtet:

- Lage des Gebäudes
- Höhe des Gebäudes
- Bauwerksalter
- Verwendungszwecke der Räume
- Flächeninhalt der Räume
- Art der Personen (Büromitarbeiter, Studenten, Mitglieder einer Versammlung, usw.), die sich im Gebäude befanden.

Die Veränderung der Lasten in den Räumen in Abhängigkeit von der Zeit wurde nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse von Culver [14] tendieren zur Normalverteilung. Die gesamte Meßzeit der Beobachtungen betrug sechs Monate.

Nach seinem Bericht wurden 625 Messungen an privaten Verwaltungsgebäuden in den USA durchgeführt (Tabelle 2.2). Diese Messungen erfolgten 1974/75 an 23 Bürogebäuden (davon 7 öffentliche und 16 private) mit insgesamt 1354 Räumen. Das Gebäudealter lag zwischen 2 und 23 Jahren und die Geschoßanzahl zwischen 2 und 49.

Im Ergebnis der Messungen nach Culver [14] ergab sich folgendes:

Der Größtwert der Nutzlasten für private Bürogebäude beträgt 2,18 kN/m<sup>2</sup>, der Mittelwert 0,414 kN/m<sup>2</sup> und die Standardabweichung 0,227 kN/m<sup>2</sup>.

Für öffentliche Bürogebäude beträgt der Größtwert 2,66 kN/m<sup>2</sup>, der Mittelwert 0,461 kN/m<sup>2</sup> und die Standardabweichung 0,242 kN/m<sup>2</sup>.

Die Zeit zwischen aufeinander folgenden Umstellungen der Einrichtungsgegenstände wurde ausgewertet. Für öffentliche Bürogebäude beträgt der Mittelwert 8,4 Jahre und die Standardabweichung 7,5 Jahre. Für private Bürogebäude sind die Werte 7,9 Jahre und 8,7 Jahre.

Tabelle 2.2: Nutzlasten nach Culver [14]

Anzahl der Räume	Nutzungsart	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standard- abweichung [kN/m <sup>2</sup> ]	90% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]	99% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]
419	öffentliche Büroräume	0,461	0,242	0,764	1,135
625	private Büroräume	0,414	0,227	0,690	1,049
188	alle Räume 4,645m <sup>2</sup> <Fläche < 9,29m <sup>2</sup>	0,534	0,397	0,993	1,853
899	alle Räume 9,29m <sup>2</sup> <Fläche < 27,87m <sup>2</sup>	0,405	0,251	0,626	1,107
226	alle Räume Fläche> 27,87m <sup>2</sup>	0,349	0,277	0,562	1,056

Für öffentliche und private Bürogebäude zusammen ergibt sich ein Mittelwert von 8 Jahren und eine Standardabweichung von 8,5 Jahren. Die Verteilungen der Zeiten sind in den Abb. 2.1 und 2.2 dargestellt.

Abbildung 2.1: Einwirkungsdauer [Jahre] der Langzeitlasten nach Culver [14]

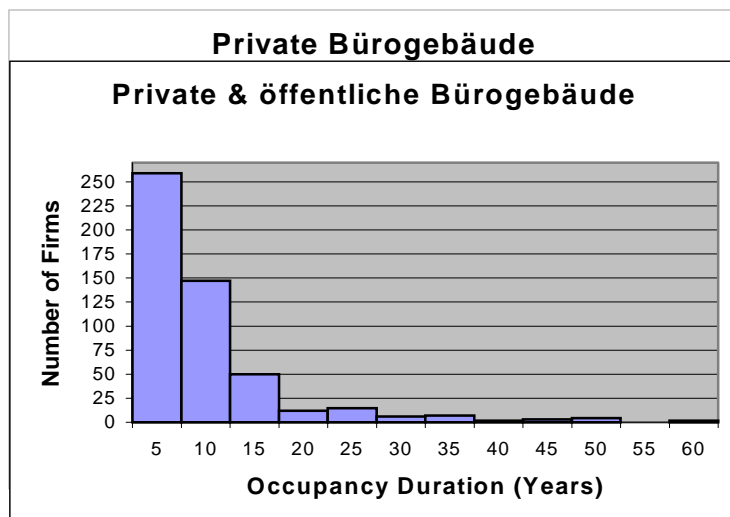


Abbildung 2.2: Einwirkungsdauer [Jahre] der Langzeitlasten nach Culver [14]

Für jeden Büroraum wurde die tatsächlich belastete Fläche gemessen.

Das Verhältnis  $\frac{\text{belastete Fläche}}{\text{gesamte Fläche}}$  ergab einen Mittelwert von 33,5% und eine Standardabweichung von 14%.

Gross und Bryson [93] haben Nutzlasten in zwei öffentlichen Verwaltungsgebäuden (mit 6580 m<sup>2</sup> bzw. 11700 m<sup>2</sup>) ausgemessen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 2.3 und 2.4 dargestellt.

Tabelle 2.3: Verwaltungsgebäude Federal Office Building (FOB)

Geschoß	Gesamtlast (Nutzlast) [kN]	Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]	gemittelte Flächenlast [kN/m <sup>2</sup> ]
1	169	576	0,29
2	87	232	0,38
3	887	1792	0,49
4	531	883	0,60
5	24	124	0,19
6	594	1515	0,39

Für die einzelnen Büroräume wurde ermittelt:

Mittelwert = 0,46 kN/m<sup>2</sup>, Standardabweichung = 0,21 kN/m<sup>2</sup>.

Das Verhältnis  $\frac{\text{belastete Fläche}}{\text{gesamte Fläche}}$  ergab einen Mittelwert von 32,9% und eine Standardabweichung von 8%.

Tabelle 2.4: Verwaltungsgebäude National Bureau of Standards Administration (NBS)

Geschoß	Gesamtlast (Nutzlast) [kN]	Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]	gemittelte Flächenlast [kN/m <sup>2</sup> ]
1	292	1038	0,28
2	246	544	0,45
3	393	552	0,71
4	360	561	0,64
5	275	561	0,49
6	490	548	0,90
7	397	556	0,72
8	422	584	0,72
9	342	563	0,61
10	255	557	0,46
11	191	514	0,37

Für die einzelnen Büroräume wurde ermittelt:

Mittelwert = 0,57 kN/m<sup>2</sup>, Standardabweichung = 0,25 kN/m<sup>2</sup>.

Das Verhältnis  $\frac{\text{belastete Fläche}}{\text{gesamte Fläche}}$  ergab einen Mittelwert von 29,8% und eine Standardabweichung von 7,3%.



Tabelle 2.5: Nutzlasten nach Bryson und Gross [93]

Anzahl der Räume	Nutzungsart	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standard- abweichung [kN/m <sup>2</sup> ]	90% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]	99% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]
219	Büroräume < 28 m <sup>2</sup>	0,505	0,264	0,758	1,302
50	Lagerräume für leichte Lagergüter	1,308	0,989	2,587	-
19	Labore und Bibliotheken	1,002	0,800	2,754	-

Das Milwaukee Board of Education (USA) hat Messungen zu den Nutzlasten in Schulzimmern durchgeführt. Für eine Fläche von 72 m<sup>2</sup> ergab sich 0,57 kN/m<sup>2</sup>. Bei der dichtesten Belegung mit 258 Schulkindern an Stelle der üblichen Höchstzahl von 48 Schulkindern wurde 2,0 kN/m<sup>2</sup> gemessen. Die SIA-Norm Nr. 160 empfiehlt 3,0 kN/m<sup>2</sup>.

Woodgate und Mitchell [131] haben 32 Bürogebäude in London untersucht. Bei der Untersuchung wurden nach Büroräume im Erdgeschoß und Büroräume über dem Erdgeschoß unterschieden. Die Räume wurden aufgemessen und die Raumflächen berechnet. Die untersuchten Räume haben Flächen zwischen 5.2 m<sup>2</sup> und 58 m<sup>2</sup>. Die Tabelle 2.6 zeigt, daß auf große und kleine Räume große Belastungen aufgetreten sind.

Die Mittelwerte der Nutzlasten in den einzelnen Geschossen über dem Erdgeschoß und die Nutzlasten im Erdgeschoß unterscheiden sich nur unwesentlich voneinander. Maßgebend sind Standardabweichungen, die zu deutlichen Abweichungen in den charakteristischen Werten führen. Die charakteristischen Werte der Nutzlasten auf kleineren Räumen sind deutlich höher als die auf größeren Räumen.

Tabelle 2.6: Nutzlasten nach Woodgate und Mitchell [131]

Anzahl der Räume	Nutzungsart	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standard- abweichung [kN/m <sup>2</sup> ]	90% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]	99% Quantilwert [kN/m <sup>2</sup> ]
Büroräume im Erdgeschoß:					
2151	Büroräume 5,2 m <sup>2</sup>	0,676	0,644	1,611	2,672
3521	Büroräume 14,0 m <sup>2</sup>	0,655	0,548	1,371	2,411
1942	Büroräume 31,2 m <sup>2</sup>	0,663	0,501	1,262	2,247
834	Büroräume 58,0 m <sup>2</sup>	0,651	0,438	1,120	2,163
Büroräume über dem Erdgeschoß:					
14290	Büroräume 5,2 m <sup>2</sup>	0,641	0,525	1,243	2,370
20442	Büroräume 14,0 m <sup>2</sup>	0,618	0,426	1,053	1,969
14283	Büroräume 31,2 m <sup>2</sup>	0,611	0,346	0,944	1,629
6511	Büroräume 58,0 m <sup>2</sup>	0,590	0,300	0,842	1,428

Rackwitz [51] und Herzog [33] haben keine Messungen gemacht. Rackwitz [51] gibt eine Zusammenstellung von verschiedenen Untersuchungen tabellarisch an (Tabelle 2.7, 2.8 und 2.9). In der Tabelle 2.7 sind die Nutzlasten in dauernd wirkende und kurzfristig wirkende aufgeteilt worden.

Tabelle 2.7: Mittelwert und Standardabweichung der Extremwertverteilung der Nutzlasten für verschiedene Nutzungsarten nach Rackwitz [51]

Nutzungsart	Bezugsfläche [m <sup>2</sup> ]	dauernd wirkend		kurzzeitig wirkend		Extremwerte aus beiden Anteilen	
		$m_{s,ext}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{s,ext}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$m_{t,ext}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{t,ext}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$m_{g,ext}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{g,ext}$ [kN/ m <sup>2</sup> ]
Büros	20	1,03	0,3	1,14	0,26	1,81	0,37
Empfangshallen	20	0,38	0,25	1,80	0,51	1,63	0,63
Wohnräume	20	0,52	0,15	1,35	0,38	1,52	0,44
Hotelzimmer	20	0,35	0,05	1,36	0,26	1,47	0,33
Kranken- zimmer	20	0,84	0,39	0,90	0,27	1,35	0,45

Tabelle 2.8: Statistische Beobachtungen für gleichförmig verteilte Dauerlasten nach Rackwitz [51]

Nutzungsart	Gesamte Beobachtungsfläche [m <sup>2</sup> ]	dauernd wirkende Nutzlasten			Dauer [Jahre]
		Bezugsfläche [m <sup>2</sup> ]	Mittelwert [kN/ m <sup>2</sup> ]	Standardabweichung [kN/ m <sup>2</sup> ]	
Büros	353400	18,6	0,52	0,28	5
Empfangshallen	158	18,6	0,22	0,16	10
Wohnräume	18970	18,6	0,29	0,13	7
Hotelzimmer	62300	18,6	0,29	0,06	10
Kranken- zimmer	7350	18,6	0,35	0,31	5-10

Tabelle 2.9: Statistische Beobachtungen für gleichförmig verteilte Kurzzeitlasten  
nach Rackwitz [51]

Nutzungsart	kurzzeitig wirkende Nutzlasten			
	Mittelwert [kN/ m²]	Standard- abweichung [kN/ m²]	durchschnittl. Häufigkeit [1/Jahr]	durchschnittl. Dauer
Büros				
a) Versammlungen	0,49	0,44	0,4	6 Std.
b) Renovierung	0,41	0,48	0,2	2 Wochen
Wohnräume				
a) Versammlungen	0,99	0,89	2,0	4,6 Std.
b) Renovierung	0,23	0,21	0,1	2 Wochen
Hotelzimmer				
a) Versammlungen	0,37	0,31	1,0	6 Std.
b) Renovierung	0,13	0,12	0,5	2 Wochen

Max Herzog [57] berichtet über wahrscheinliche Nutzlasten von Hochbauten. Er geht von Auftretenswahrscheinlichkeiten der Lasten aus. Die Meßergebnisse, die er untersucht hat, beschränken sich auf bestimmte Gebäudenutzungen (Wohnungen, Büros, Warenhäuser und Leichtindustrie (Tabelle 2.10)).

Es wurde festgestellt, daß die Auftretenswahrscheinlichkeiten der Normlasten sehr klein sind ( $< 0,0001$ ). In der Tabelle 2.10 sind die für verschiedene Auftretenswahrscheinlichkeiten bei Normalverteilung und Gammaverteilung rechnerisch ermittelten Werte angegeben. Diese werden mit den gemessenen Werten verglichen.

In Wohnungen und Büros sind die Meßergebnisse kleiner, als die mit der Normal- und Gammaverteilung rechnerisch ermittelten Werten. Bei leichten und schweren Lagergütern ist das Gegenteil eingetreten. Wie zu erwarten, sind die nach der Normalverteilung ermittelten Fraktile kleiner als die nach der Gammaverteilung.

Tabelle 2.10: Nutzlasten nach Herzog [33]

Nr.	Gebäudenutzung	Anzahl Räume	$\mu$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	F 90%			F 99%		
					M	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	M	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
1	Wohnungen	830	0,54	0,19	0,67	0,78	0,80	1,01	0,98	1,09
2	Büros	22554	0,61	0,41	1,02	1,14	1,16	1,94	1,57	1,95
3	Bücherein	19	1,00	0,80	2,75	2,02	-	***	2,86	-
4	Spitäler	208	0,44	0,23	0,59	0,73	0,75	1,17	0,98	1,13
5	Warenhäuser	1115	1,84	0,51	2,31	2,49	2,51	2,73	3,03	3,23
6	Leichtindustrie *	8616	0,85	0,93	1,48	2,04	2,04	4,96	3,02	4,28
7	Schwerindustrie **	773	2,78	1,78	5,10	5,06	5,16	7,82	6,92	8,48
8	leichte Warenlager	50	1,31	0,99	2,59	2,57	2,62	***	3,61	4,60
9	schwere Warenlager	742	3,57	2,57	7,18	6,87	7,01	11,43	9,56	12,04

\*\*\* ungenügende Zahl von Messungen (n < 100)

\* Matrazen-, Möbel- und Kleiderschränke

\*\* Druckereien

M = Messung

R<sub>1</sub> = Rechnung für Normalverteilung

R<sub>2</sub> = Rechnung für Gammaverteilung

Die Nutzlasten, die mit der Wahrscheinlichkeit von 1 % auftreten, zählen schon zu den Extremwerten. Die Tabelle 2.11 vergleicht solche Nutzlasten mit denen der SIA-Norm 160. Für Büros ist die Übereinstimmung ziemlich gut.

Tabelle 2.11: Rechnerische Nutzlasten [kN/m<sup>2</sup>] für verschiedene Auftretenswahrscheinlichkeiten bei Normalverteilung im Vergleich mit den genormten Werten nach Herzog [33]

Gebäude- nutzung	Auftretenswahrscheinlichkeit in %						SIA-Norm Nr. 160 Artikel 16
	50 %	10 %	5 %	1 %	0,1 %	0,01 %	
Wohnungen	0,54	0,78	0,85	0,98	1,13	1,25	2,00
Büros	0,61	1,14	1,29	1,57	1,88	2,14	2,00
Waren- häuser	1,84	2,49	2,68	3,03	3,42	3,74	4,00

Herzog [33] vergleicht die 95% Fraktile der Nutzlasten mit den genormten Werten nach SIA-Norm Nr. 160, Artikel 16 (Tabelle 2.12).

Tabelle 2.12: Wahrscheinliche Nutzlasten (95% Fraktile) im Hochbau im Vergleich mit den genormten Werten nach SIA-Norm Nr. 160 [33]

Nr.	Gebäudenutzung	Nutzlast in kN/m <sup>2</sup>		
		$p_{95\%}$	$p_{SIA}$	$\frac{p_{95\%}}{p_{SIA}}$
1	Wohnungen	0,85	2,00	0,43
2	Büros	1,29	2,00	0,65
3	Schulen	0,57	3,00	0,19
4	Spitäler	0,82	2,00	0,41
5	Warenhäuser	2,68	4,00	0,67
6	Leichtindustrie	2,39	5,00	0,48
7	Versammlungsräume	1,80	5,00	0,36
8	Tribünen mit fester Bestuhlung	2,00	5,00	0,40
9	Stehplatztribünen	4,50	5,00	0,90

Die Lastannahmen nach EC 1 [18] orientieren sich an den Normwerten der neun EC Länder (Tabelle 2.13).

Tabelle 2.13: Nutzlasten nach EC 1 [18]

	Nutzlasten in kN/m <sup>2</sup>										
Gebäudenutzung	B	D	DK	E	F	GB	I	NL	P	$\mu$	EC
Büros	3,0	2,0	2,5	3,0	2,5	2,5	3,5	2,0	3,0	2,7	3,0
Wohnungen:											
Öffentliche Räume	3,0	2,0	2,5	3,0	5,0	2,0	3,5	2,0	3,0	2,9	3,0
Apartment	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	2,0	1,7	2,0
Schulen	3,0	3,5	2,5	3,0	2,5	3,0	3,5	2,0	3,0	2,9	3,0
Warenhäuser	4,0	5,0	4,0	3,0	5,0	4,0	5,0	3,0	4,0	4,1	5,0
Theater	4,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,7	5,0

B = Belgien, D = Deutschland, DK= Dänemark, E = Spanien, F = Frankreich,  
GB = Großbritannien, I = Italien, NL = Niederlande, P = Portugal

Nach DIN V ENV 1991-2-1 [15] werden die nach Tabelle 2.13 gegebenen Nutzlasten als charakteristische Werte bezeichnet. Allerdings ist es nicht klar, ob diese Lasten 90% -, 95% - oder 98% - Quantilwerten entsprechen. Eine konkrete Aussage kann nicht getroffen werden, da die Normwerte nach Tabelle 2.13 nicht auf statistischen Grundlagen basieren.

In dem Memorandum CON-92-1337/VRA/BKA, JCSS-VROU-01-93 (Project on Eurocode Random Variable Models) [107] werden Parameter für die logarithmisch normalverteilte Dauerlasten und Kurzzeitlasten vorgeschlagen:

Dauerlasten:

$$\begin{aligned}\mu &= 0,6 \text{ kN} / \text{m}^2 \\ \sigma &= \sqrt{\left\{ 0,05^2 + 0,36 \cdot \frac{\kappa}{A} \right\}} \text{ kN} / \text{m}^2\end{aligned}\tag{2.2}$$

Kurzzeitlasten:

$$\mu = 0,10 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (2.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\left\{0,16 \cdot \frac{\kappa}{A}\right\}} \text{ kN} / \text{m}^2$$

$\kappa$  Systemfaktor zur Berücksichtigung der Lagerungsbedingungen und der maßgebenden Schnittkraft

A Fläche.

Tabelle 2.14: Einige Systemfaktoren [107]

Bauteil	Maßgebende Schnittkraft	$\kappa$
Decke	Feldmoment	1,5
Träger (gelenkig gelagert)	Feldmoment	2,7
Träger (eingespannt)	Einspannmoment	2,0
Träger mit Kragarm	Feldmoment	2,0
Innenstütze	Moment	2,2

## 2.2 Aufbereitung der Daten für die Untersuchung

Anhand der vorgestellten Nutzlasten werden im folgenden die Parameter der Nutzlasten für die Untersuchung festgelegt. Dabei werden für die Nutzlasten die Verteilungsfunktion, Mittelwerte, Standardabweichung und die Zeitabhängigkeit konkretisiert.

### 2.2.1 Verteilungsfunktion der Nutzlasten

Ross, Corotis und Vireschi [12] haben Anpassungstests zu den Messungen von Culver, Karman, Woodgate und Mitchell, und Bryson und Gross durchgeführt. Sie haben die Normalverteilung, die logarithmische Normalverteilung und die Gammaverteilungen untersucht.

Die Ergebnisse der Untersuchungen haben folgendes gezeigt:

- die Normalverteilung hat kleinere Lasten als die Messwerte erbracht.

Der Unterschied ist nicht zu vernachlässigen.



- die logarithmische Normalverteilung (Lognormalverteilung) und die Gammaverteilung erbrachten sehr gute Ergebnisse. Die Abweichungen sind unwesentlich groß.

Als Verteilungsfunktion der Nutzlasten für die Untersuchung wird die logarithmische Normalverteilung festgelegt.

### **2.2.2 Lastgrößen**

Die Nutzlasten haben Bezugsflächen. Die in den Tabellen 2.2, 2.5-2.8 angegebenen Bezugsflächen sind unterschiedlich. Zur Festlegung der Lastgrößen ist deshalb eine Betrachtung der Raumgrößen notwendig.

Eine Untersuchung im Rahmen einer Diplomarbeit von Schütt [123] zu Bürogebäuden hat folgendes erbracht. Die Geschosßbauten bestehen häufig aus 3 bis 4 Stützenreihen in Bauwerksquerrichtung. Je nach den Nutzungsanforderungen haben Raumtiefen, die zwischen 5 und 7 m variieren. Für die Gebäudequerrichtung ergeben sich unter Berücksichtigung aller planerischen Randbedingungen Gebäudebreiten bis zu 18 Meter.

Die Bezugsfläche ist eine Fläche, auf der die Last gleichförmig verteilt angenommen wird. Ihre Größe hängt von den Funktionen des Gebäudes ab. Grundsätzlich geht man vom Einzelbüroraum als Grundelement eines Verwaltungsgebäudes aus. Die Raumtiefe liegt zwischen 4,4 und 5,5 m (Abb. 2.3). Die Raumbreite eines Einzelbüorraumes richtet sich nach der Anzahl der Personen. Kahl [99] gibt Raumbreiten von 2,3 m, 2,5 m, 2,7 m, 3,5 m, 3,8 m und 4,10 m vor. Die Raumtiefen und Raumbreiten führen zu den Nutzflächen nach Tabelle 2.15 [99].

Tabelle 2.15: Nutzfläche der Büroräume nach Kahl [99]

Nutzer:	Nutzfläche des Büroraumes:
1 Sachbearbeiter mit Diskretionsanspruch oder besonderem Konzentrationsbedürfnis	ca. 12 m <sup>2</sup>
2 Sachbearbeiter oder 1 Mitarbeiter mit Besprechungstisch für ca. 4 Personen	ca. 18 m <sup>2</sup>
6 Personen oder 3 Sachbearbeiter	24-30 m <sup>2</sup>
Funktionsräume	ab 30 m <sup>2</sup>

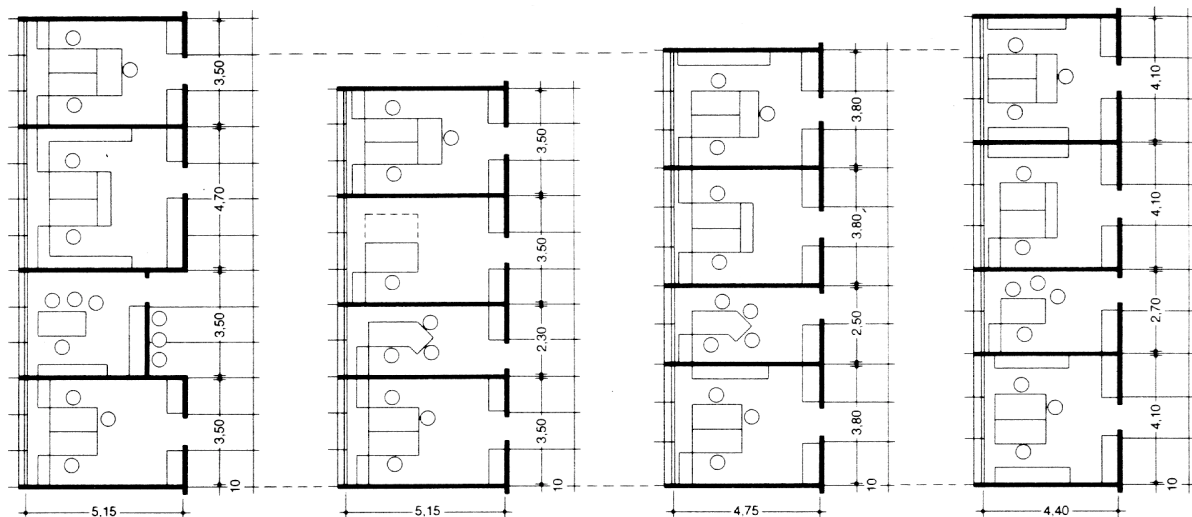


Abb. 2.3: Raumtiefe und Raumbreite von Büroräumen nach [99]

Für die Lognormalverteilung nach Abschnitt 2.2.1 werden Parameter nach Tabelle 2.16 und 2.17 zugrunde gelegt:

Tabelle 2.16: Dauerlasten in kN/m<sup>2</sup>

Nutzungsart	Mittelwert [kN/ m <sup>2</sup> ]	Standardabweichung [kN/ m <sup>2</sup> ]	Dauer [Jahre]
Büros	0,60	0,30	5 bzw. 8
Wohnräume	0,60	0,20	7
Hotelzimmer	0,40	0,10	10
Krankenzimmer	0,50	0,30	5-10

Tabelle 2.17: Kurzzeitlasten

Nutzungsart	Mittelwert [kN/ m <sup>2</sup> ]	Standard- abweichung [kN/ m <sup>2</sup> ]	durchschnittl. Häufigkeit [1/Jahr]	durchschnittl. Dauer
Büros				
a) Versammlungen	0,50	0,45	0,40	6 Std.
b) Renovierung	0,50	0,50	0,20	2 Wochen
Wohnräume				
a) Versammlungen	1,00	0,90	2,00	5 Std.
b) Renovierung	0,30	0,20	0,125	2 Wochen
Hotelzimmer				
a) Versammlungen	0,40	0,30	1,00	6 Std.
b) Renovierung	0,15	0,15	0,50	2 Wochen

## 2.3 Modellierung von Nutzlasten durch Erneuerungsprozesse

Im folgenden wird ein Modell dargestellt, mit dem die Nutzlasten als Prozesse beschrieben werden können. Die Lastgrößen seien  $Y$ .

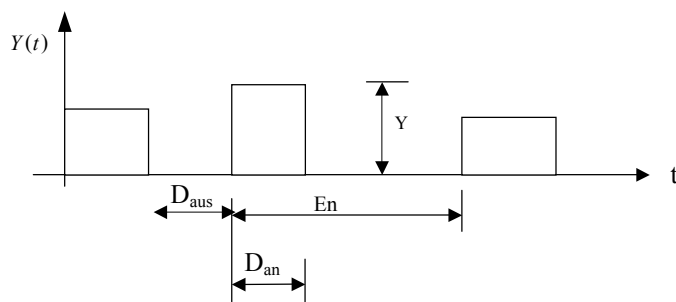


Abbildung 2.4: Erneuerungsprozeß

F

$D_{an}$  = Einwirkungszeit der Nutzlast

$D_{aus}$  = die Zeit, in der die Nutzlast nicht wirkt

Die Nutzlasten wirken zeitlich nicht kontinuierlich. Sie treten zu bestimmten Zeitpunkten auf. Zu diesen Zeitpunkten erfolgen sprunghafte Änderungen in den Lasthöhen. Während der Zeit zwischen den sprunghaften Veränderungen bleiben die Lastgrößen konstant.

Für die Beschreibung des Lastprozesses wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Auftreten von  $N(t) = n$  stochastisch unabhängigen Lasten in einem Zeitintervall  $t$  gesucht. Diese Wahrscheinlichkeit kann für diskrete Ereignisse mit der Binomialverteilung berechnet werden:

$$\left( P \left( N(t) = n \right) = \binom{r}{n} \cdot p^n \cdot (1-p)^{r-n} \right) \quad (2.4)$$

$$n = 1, 2, \dots, r$$

$p$  ist die Eintretenswahrscheinlichkeit jedes Versuches.

Für kontinuierliche Ereignisse (mit  $r \rightarrow \infty$  und  $p \rightarrow 0$ ) in der betrachteten Zeit wird die Binomialverteilung durch die Poisson-Verteilung ersetzt.

$$P[N(t) = n] = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \quad ; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.5)$$

$\lambda$  ist die Anzahl der Erneuerungen der Last je Zeiteinheit.

Treten keine Lasten auf, ist

$$P[N(t) = 0] = \frac{(\lambda \cdot t)^0}{0!} \cdot \exp(-\lambda \cdot t) = \exp(-\lambda \cdot t) . \quad (2.6)$$

Für die Verteilungsfunktion der Zeiten  $\tau$  zwischen aufeinanderfolgenden Lasten wird die Zeit  $\tau_1$  von Null bis zum ersten Auftreten  $N(t) = 1$  einschließlich der Dauer des Lastereignisses als Zufallsvariable betrachtet. Die Wahrscheinlichkeit, daß das erste Lastereignis im Intervall 0 bis  $t$  nicht eintritt, wird gegeben durch

$$P[\tau_1 > t] = 1 - F_1(\tau_1) = P[N(\tau_1) = 0] = \exp(-\lambda \cdot \tau_1) . \quad (2.7)$$

Die Verteilungsfunktion lautet

$$F_1(\tau_1) = 1 - \exp(-\lambda \cdot \tau_1) \quad (2.8)$$

und die Dichtefunktion

$$f_1(\tau_1) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau_1). \quad (2.9)$$

Die Zeiten zwischen aufeinanderfolgenden Lastereignissen sind exponentialverteilt.

Der Lastprozeß wird durch die folgenden zufälligen Größen beschrieben:

- Lastintensität (Lognormalverteilung)
- zufällige Lasteintragszeiten (Exponentialverteilung)
- zufällige Lastdauer (Exponentialverteilung).

Zur Beschreibung der zufälligen Lasteintragszeiten sind die folgenden Zeiten erforderlich:

- die Zeit  $D_{an}$  (an = angeschaltet), während der die Nutzlast wirkt
- die Zeit  $D_{aus}$  (aus = ausgeschaltet), während der die Nutzlast nicht wirkt.

Die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Lastereignissen ist gleich  $D_{an} + D_{aus}$ . Geht die Lastdauer  $D_{an}$  gegen Null, entsteht ein sogenannter Spikeprozeß. Für die Modellierung von Kurzzeitlasten eignen sich die Spikeprozesse. Die Lastparameter und Zeitparameter sind in den Tabellen 2.16 und 2.17 gegeben.

In der Abbildung 2.6 sind die mit der Monte-Carlo Methode realisierten Lastprozesse der Dauerlasten, der Kurzzeitlasten und deren Überlagerung für einen Zeitraum von 500 Jahren zur Veranschaulichung dargestellt.

Ist die Zeit  $D_{aus}$  sehr klein im Vergleich zur Zeit  $D_{an}$ , ergibt sich ein Prozeß gemäß Abb. 2.6 a. Der Nutzlastprozeß der Dauerlasten kehrt zum Nullniveau zurück. Dabei wird an Zeiten gedacht, in denen die Gebäude leer stehen. Das kann dadurch begründet werden, daß kein Nutzer in eine geräumte Wohnung sofort einzieht, sondern erst nach einigen Tagen (z. B. 2 Wochen).

In den Abb. 2.6 a und 2.6 b sind die Momentanwerte der Dauerlasten und Kurzzeitlasten über die Zeit dargestellt. Als Zeitschritt wurde  $\Delta t = 1 \text{ Tag}$  gewählt. Mit diesem Zeitschritt wurden

auf der Zeitachse die Dauerlasten und Kurzzeitlasten überlagert. Daraus ergibt sich die Abb. 2.6 c. Aus dem Verlauf in Abb. 2.6 c wurde für jedes Jahr ein Extremwert ausgesucht. Diese Extremwerte sind in der Abb. 2.6 d dargestellt.

Die Extremwerte wurden statistisch ausgewertet und die interessierenden charakteristischen Werte berechnet.

Die Erzeugung von nach  $F_{Y_i}$  verteilten Zufallszahlen  $Y_i$  erfolgt in zwei Stufen

1. Erzeugung von Zufallszahlen  $X_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ), die im Intervall  $[0,1]$  gleichverteilt sind,
2. 
$$f_X(x) = \begin{cases} 1 & \text{für } 0 \leq x_i \leq 1, \\ 0 & \text{sonst} \end{cases},$$
3. Transformation der gleichverteilten Zufallszahlen  $X_i$  in die gesuchten  $Y_i$ .

Die erste Stufe erfolgt durch spezielle Rekursionsformeln, die zweite Stufe mit der Methode der inversen Verteilung (Abb. 2.5).

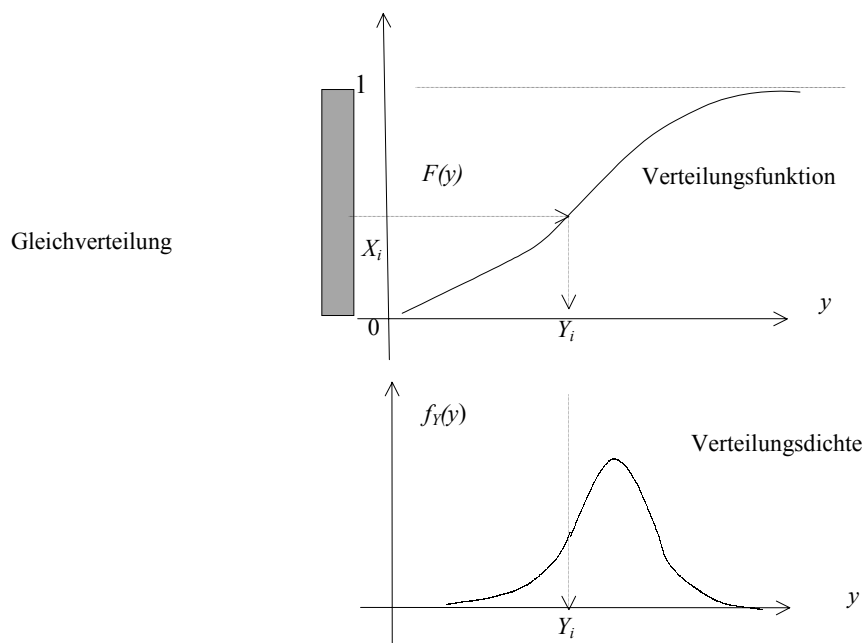
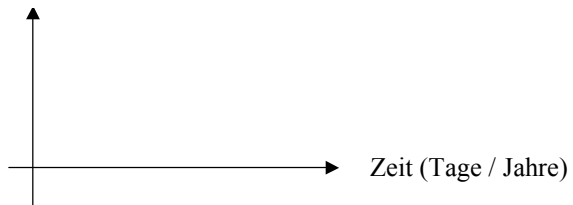


Abbildung 2.5: Erzeugung von Zufallszahlen

Nutzlast (kN/m<sup>2</sup>)



Dauerlasten

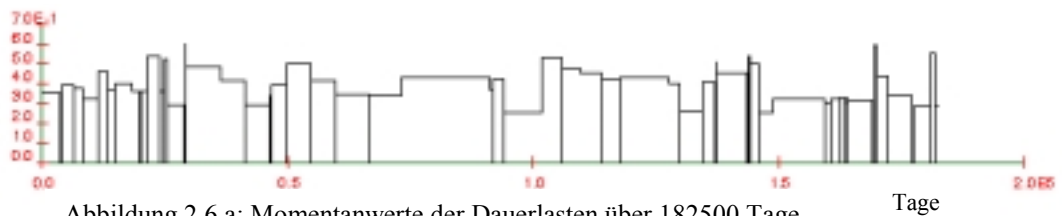


Abbildung 2.6 a: Momentanwerte der Dauerlasten über 182500 Tage

Kurzzeitlasten

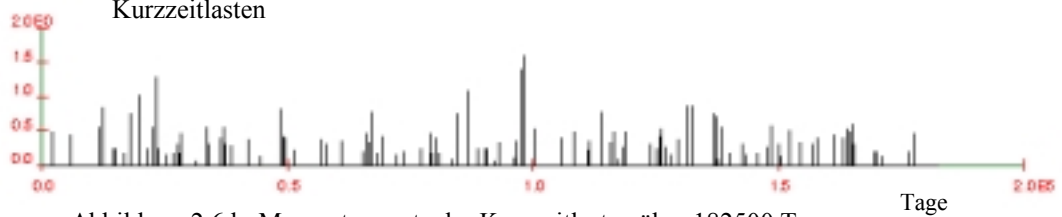


Abbildung 2.6 b: Momentanwerte der Kurzzeitlasten über 182500 Tage

Überlagerung (Dauerlasten + Kurzzeitlasten)

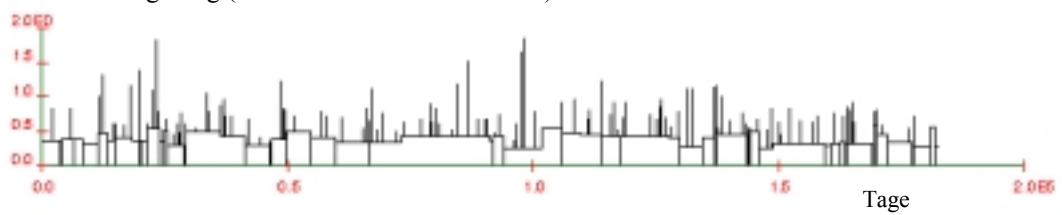


Abbildung 2.6 c: Überlagerung der Momentanwerte über 182500 Tage

Jährliche Extremwerte der Nutzlasten aus der Überlagerung

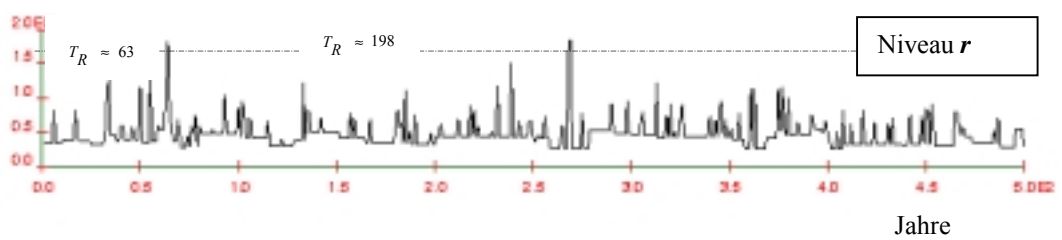


Abbildung 2.6 d: Extremwerte der Nutzlasten in 500 Jahren

Abbildung 2.6: Realisierungen mit der Monte-Carlo Methode erzeugt und zur Veranschaulichung dargestellt

## 2.4 Die Berechnung von Parametern der Stützenlasten mit der Momentenmethode

Wird das Tragverhalten berücksichtigt, dann lassen sich die Stützenlasten wie folgt darstellen:

$$S = \ddot{U} \cdot Y \quad (2.10)$$

$\ddot{U}$  ist der systemabhängige Übertragungsfaktor zwischen Last  $Y$  und Lastwirkung  $S$ .

Generell sind Übertragungsfaktoren Funktionen der stochastischen Basisvariablen z.B. der Geometrie, der Materialeigenschaften und der Lasten.

$$\ddot{U} = F(H, Y) \quad (2.11)$$

$Y$  enthält alle Nutzlasten, die am Tragwerk angreifen und  $H$  enthält alle übrigen Basisvariablen wie Geometrie und Materialeigenschaften. Bei der Berechnung der Lastwirkungen nach Theorie 1. Ordnung gilt für statisch bestimmte und statisch unbestimmte Systeme

$$\ddot{U} = F(H). \quad (2.12)$$

Für die vorliegende Untersuchung wird vorausgesetzt, daß keine Abhängigkeit von  $\ddot{U}$  und  $Y$  vorliegt.

Die Superposition der Lastwirkungen wird eingeschränkt, indem nur gleichsinnige Lasten berücksichtigt werden. Für die Superposition der Lastwirkungen läßt sich schreiben

$$S = \sum \ddot{U}_i \cdot Y_i. \quad (2.13)$$

Für die Berechnung der Stützenlasten von punktgestützten Deckenplatten gehen die Gleichungen (2.12) und (2.13) über in

$$S = \sum F(H) \cdot Y_i. \quad (2.14)$$

Die Momente von  $S$  können wie folgt berechnet werden:

Allgemein gilt für eine kontinuierliche Zufallsvariable  $X$ :

$$m_x = E[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f_X(x) \cdot dx. \quad (2.15)$$

und für eine beliebige mathematische Funktion  $g(x)$  gilt



$$m_{g(x)} = E[g(x)] = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) \cdot f_X(x) \cdot dx \quad (2.16)$$

Mittelwerte und Varianz werden durch den Ansatz von Taylor-Reihen angenähert. Die Reihenentwicklung wird am Mittelwert  $m_x$  durchgeführt und bereits nach den linearen Ausdrücken abgebrochen.

$$g(x) \cong g(m_x) + g'(m_x) \cdot (x - m_x)$$

$$\begin{aligned} E[g(x)] &\cong \int_{-\infty}^{\infty} [g(m_x) + g'(m_x) \cdot (x - m_x)] \cdot f_X(x) \cdot dx \\ &\cong \int_{-\infty}^{\infty} g(m_x) \cdot f_X(x) \cdot dx + \int_{-\infty}^{\infty} g'(m_x) \cdot x \cdot f_X(x) \cdot dx - \int_{-\infty}^{\infty} g'(m_x) \cdot m_x \cdot f_X(x) \cdot dx \\ &\cong g(m_x) + g'(m_x) \cdot m_x - g'(m_x) \cdot m_x \end{aligned}$$

$$E[g(x)] \cong g(m_x) \quad (2.17)$$

Die Varianz läßt sich wie folgt berechnen:

$$Var(g(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} [g(x) - m_x]^2 \cdot f_X(x) \cdot dx \quad (2.18)$$

Mit

$$g(x) \cong g(m_x) + g'(m_x) \cdot (x - m_x)$$

folgt:

$$\begin{aligned} Var(g(x)) &= \int_{-\infty}^{\infty} [g(m_x) + g'(m_x) \cdot (x - m_x) - m_x]^2 \cdot f_X(x) \cdot dx \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \{ [g(m_x)]^2 + g(m_x) \cdot x \cdot g'(m_x) - g(m_x) \cdot g'(m_x) \cdot m_x - g(m_x) \cdot m_x + \\ &\quad x \cdot g'(m_x) \cdot g(m_x) + x^2 \cdot [g'(m_x)]^2 - x \cdot [g'(m_x)]^2 \cdot m_x - x \cdot g'(m_x) \cdot m_x - \\ &\quad g'(m_x) \cdot m_x \cdot g(m_x) - x \cdot [g'(m_x)]^2 \cdot m_x + [g'(m_x) \cdot m_x]^2 + g'(m_x) \cdot m_x^2 - \\ &\quad g(m_x) \cdot m_x - x \cdot m_x \cdot g'(m_x) + g'(m_x) \cdot m_x^2 + m_x^2 \} \cdot f_X(x) \cdot dx \end{aligned}$$

$$\text{Mit } \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f_X(x) \cdot dx = m_x, \quad \int_{-\infty}^{\infty} f_X(x) \cdot dx = 1 \quad \text{und} \quad \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot f_X(x) \cdot dx = E[X^2] = \sigma_x^2 + m_x^2,$$

folgt:

$$\begin{aligned} Var(g(x)) &= [g(m_x)]^2 + m_x^2 - 2 \cdot g(m_x) \cdot m_x + [g'(m_x)]^2 \cdot [m_x^2 + \sigma_x^2] - [g'(m_x)]^2 \cdot m_x^2 \\ &= [g(m_x) - m_x]^2 + [g'(m_x)]^2 \cdot \sigma_x^2 \end{aligned}$$

Es gilt auch

$$g(m_x) = m_x.$$

Die Varianz kann nun mit dem folgenden Ausdruck abgeschätzt werden.

$$Var(g(x)) \cong [g'(m_x)]^2 \cdot \sigma_x^2. \quad (2.19)$$

Bei ausgeprägten Nichtlinearitäten gelten die folgenden Näherungsbeziehungen:

$$g(x) \cong g(m_x) + g'(m_x) \cdot (x - m_x) + 0.5 \cdot g''(m_x) \cdot (x - m_x)^2$$

$$E[g(x)] \cong \int_{-\infty}^{\infty} \left[ g(m_x) + g'(m_x) \cdot (x - m_x) + 0.5 \cdot g''(m_x) \cdot (x - m_x)^2 \right] \cdot f_X(x) \cdot dx$$

$$E(g(x)) \cong g(m_x) + 0.5 \cdot \sigma_x^2 \cdot [g''(m_x)]$$

$$\begin{aligned} Var(g(x)) &\cong [g'(m_x)]^2 \cdot \sigma_x^2 + E[(x - m_x)^3] \cdot g'(m_x) \cdot g''(m_x) \\ &\quad + 0.25 \cdot E[(x - m_x)^4] \cdot [g''(m_x)]^2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Für mehrdimensionale Fragestellungen gilt die folgende Erweiterung:

$$g(x) = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (2.21)$$

$$E(g(x)) = g(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}) \quad (2.22)$$

$$Var(g(x)) \cong \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \Big|_{m_x} \right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \right) \cdot \left( \frac{\partial g}{\partial x_j} \right) \cdot Cov(X_i X_j) \quad (2.23)$$

Wenn die beteiligten Variablen statistisch unabhängig sind, dann ist die Kovarianz gleich Null. Daraus folgt:

$$E(g(x)) \equiv g(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}) \quad (2.24)$$

$$Var(g(x)) \equiv \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \Big|_{m_x} \right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 \quad (2.25)$$

Der Mittelwert von  $S$  nach Gl. 2.22 ist derselbe für deterministische und stochastische Übertragungsfaktoren (vgl. 2.1.3).

Aus der Gleichung (2.25) folgt für  $\sigma_S$

$$\begin{aligned} \sigma_S^2 &= \mu_{Y_1}^2 \cdot \sigma_{\tilde{U}_1}^2 + \mu_{\tilde{U}_1}^2 \cdot \sigma_{Y_1}^2 + \mu_{Y_2}^2 \cdot \sigma_{\tilde{U}_2}^2 + \mu_{\tilde{U}_2}^2 \cdot \sigma_{Y_2}^2 + \dots + \mu_{Y_n}^2 \cdot \sigma_{\tilde{U}_n}^2 + \mu_{\tilde{U}_n}^2 \cdot \sigma_{Y_n}^2 \\ \sigma_S^2 &= \sum_{i=j=1}^n \mu_{Y_i}^2 \cdot \sigma_{\tilde{U}_j}^2 + \mu_{\tilde{U}_i}^2 \cdot \sigma_{Y_j}^2 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Werden die Übertragungsfaktoren deterministisch angenommen, geht die Gleichung (2.26) in

$$\sigma_S^2 = \sum_{i=j=1}^n \left( \mu_{\tilde{U}_i}^2 \cdot \sigma_{Y_j}^2 \right) \quad \text{über,} \quad (2.27)$$

wobei die Varianz kleiner ist, als die der Gleichung (2.26).

## 2.5 Erforderliche Anzahl von jährlichen Extremwerten

Die Dauerlasten und Kurzzeitlasten werden, wie in Abb. 2.6 dargestellt, überlagert. Die Berechnung erfolgt kontinuierlich über eine Zeitspanne von 10000 Jahren (3650000 Tage), wobei die Dauerlasten und Kurzzeitlasten je Tag überlagert werden. Für jedes Zeitintervall von einem Jahr (365 Tage) wird der jährliche Extremwert aus der Überlagerung ausgesucht. Insgesamt werden 10000 Extremwerte zusammengestellt.

Die Anzahl der Extremwerte wird wie folgt begründet:

Es soll die Anzahl von Simulationen ermittelt werden, die ein gewähltes Zuverlässigkeitsniveau benötigt.

Jede Berechnung eines Extremwertes der Überlagerung ist ein Experiment. Jedes Experiment hat die Wahrscheinlichkeit  $p$  korrekt (erfolgreich) zu sein (d.h. der berechnete Extremwert in

der Untersuchung unterscheidet sich nicht um mehr als 1% vom gewünschten Ergebnis) oder  $(1 - p)$  falsch zu sein (der Extremwert unterscheidet sich um mehr als 1% vom gewünschten Ergebnis). Die Berechnungen sollen voneinander statistisch unabhängig sein. Die Anzahl der korrekten Versuche kann mit einer Binomialverteilung beschrieben werden. Ist die Anzahl der Simulationen  $n$  groß, kann die Binomialverteilung durch eine Normalverteilung approximiert werden.

Der Erwartungswert beträgt  $n \cdot p$  und die Standardabweichung  $\sqrt{n \cdot p \cdot (1 - p)}$ .

$k$  sei die Anzahl der korrekten Versuche (Monte-Carlo Simulationen) aus  $n$  Simulationen.

In der Abb. 2.7 ist die Darstellung der erfolgreichen Simulationen mit der folgenden Bedingung verknüpft: Die Anzahl von erfolgreichen Simulationen dürfen  $k_{\frac{\varepsilon}{2}}$  mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\frac{\varepsilon}{2}$  über- bzw. unterschreiten.

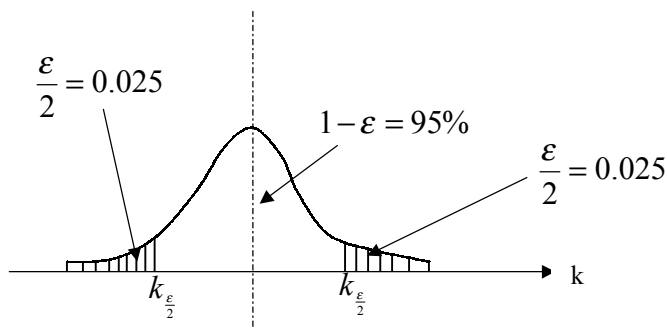


Abbildung 2.7: Verteilung der erfolgreichen Experimente

Aus der oben genannten Bedingung folgt:

$$\frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{2} = \Phi \left[ \frac{k - k_{\frac{\varepsilon}{2}}}{\sigma[k]} \right] = \Phi \left[ \frac{n \cdot p - k_{\frac{\varepsilon}{2}}}{\sqrt{n \cdot p(1 - p)}} \right] \quad (2.28)$$

$$n = \frac{p(1 - p) \cdot \left[ \Phi^{-1} \left( \frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{2} \right) \right]^2}{\delta^2}; \quad \delta = p - \frac{k_{\frac{\varepsilon}{2}}}{n} \quad (2.29)$$

$\delta$  ist der zulässige Fehler bei der Bestimmung von  $p$ .

$n$  ist am größten, wenn  $p$  am größten ist.

$$\frac{\partial}{\partial p}(p(1-p)) = 1 - 2p = 0 \quad (2.30)$$

$$p = \frac{1}{2}$$

Mit  $p(1-p) = \frac{1}{2}(1-\frac{1}{2}) = \frac{1}{4}$  und Gl. (2.29) errechnet sich  $n$  zu

$$n = \frac{\left[ \Phi^{-1}\left(\frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right) \right]^2}{4 \cdot \delta^2}. \quad (2.31)$$

Soll das Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation sich nicht um mehr als 1% vom angestrebten Ergebnis unterscheiden ( $\delta = 0.01$ ) mit 95 % Konfidenzniveau ( $1 - \varepsilon = 0.95$ , siehe auch Tabelle 2.19), dann läßt sich  $n$  wie folgt berechnen:

$$F(k_{\frac{\varepsilon}{2}}) = \int_{-\infty}^{k_{\frac{\varepsilon}{2}}} e^{-0.5 \cdot u^2} du \quad (2.32)$$

Für  $\varepsilon = 0.05$  wird  $F(k_{\frac{\varepsilon}{2}}) = \int_{-\infty}^{k_{\frac{\varepsilon}{2}}} e^{-0.5 \cdot u^2} du = 0.975$  gesucht.

Aus der Tabelle 2.18 ist  $\Phi^{-1}\left(\frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right) = 1.96$ .

Tabelle 2.18: Bestimmung von  $\Phi^{-1}\left(\frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right)$

$k_{\frac{\varepsilon}{2}} = \Phi^{-1}\left(\frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right)$	$F(k_{\frac{\varepsilon}{2}}) = \int_{-\infty}^{k_{\frac{\varepsilon}{2}}} e^{-0.5u^2} du$
1.953	0.9745902
1.954	0.9746494
1.955	0.9747085
1.956	0.9747674
1.957	0.9748263
1.958	0.9748850
1.959	0.9749436
1.960	0.9750021
1.961	0.9750605
1.962	0.9751188

$\delta$  wird mit 0.01 und  $\varepsilon = 0.05$  festgelegt.

Mit der Gleichung (2.31) beträgt 
$$n = \frac{\left[\Phi^{-1}\left(\frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right)\right]^2}{4 \cdot \delta^2} = \frac{1.96^2}{4 \cdot 0.01^2} = 9604$$

Die Anzahl der Extremwerte wird auf 10000 festgelegt.

Mit einer Stichprobe von 10000 Extremwerten werden die charakteristischen Werte der Stützenlasten berechnet.

## 2.6 Festlegung der Überschreitungswahrscheinlichkeit $P_{ii}$

Abb. 2.6 c zeigt die Überlagerung der Momentanwerte der Nutzlasten. Die Nutzlasten nach Abb. 2.6 c sollen durch die Zufallsgröße  $X$  beschrieben werden. Die Verteilungsfunktion sei  $F_X$  und die Verteilungsdichte  $f_X$ . Aus dieser Grundgesamtheit wird eine Folge unabhängiger Realisierungen von 10000 jährlichen Extremwerten entnommen.

$$\begin{aligned} U_1 &= \max\{X_1, X_2, \dots, X_{365}\}, U_2 = \max\{X_{1+365}, X_{2+365}, \dots, X_{365+365}\}, \dots, \\ U_{10000} &= \max\{X_{1+999 \cdot 365}, X_{2+999 \cdot 365}, \dots, X_{365+999 \cdot 365}\} \end{aligned} \quad 2.33$$

Die Verteilungsfunktion  $F_U(x)$  der Extremwerte ist gleich der Wahrscheinlichkeit, daß jeder  $X_j$  kleiner als  $x$  ist.

$$F_U(x) = P(U_j \leq x) = P(X_1 \leq x \cap X_2 \leq x \cap \dots \cap X_{10000} \leq x) \quad (2.34)$$

Da die Extremwerte voneinander so weit zeitlich auseinander liegen, daß sie als unabhängig angesetzt werden können, kann die oben stehende Beziehung wie folgt umgeschrieben werden:

$$F_U(x) = \prod_1^m P(X_j \leq x) = [F_X(x)]^n \quad m = 1 \dots 10000 \quad (2.35)$$

Die Extremwerte sind Lastpulse mit konstanter Einwirkungsdauer von einem Tag (Abb. 2.4); sie haben zufällige Lasthöhen.

Von Interesse sind die zeitlichen Abstände, in denen ein vorgegebenes Niveau  $r$  durch die Last  $U$  überschritten wird. Die Zeit zwischen zwei Überschreitungen des Niveaus  $r$  wird als Wiederholungsperiode  $T_R$  ( $R$  = return period) bezeichnet (Abb. 2.6 d).

Die Wahrscheinlichkeit, daß die erste Niveauüberschreitung nach  $T$  Jahren auftritt, kann aus der Binomialverteilung berechnet werden:

$$P(T = t) = p \cdot (1 - p)^{t-1}; \quad t = 1, 2, \dots \quad (2.36)$$

$p$  ist die Wahrscheinlichkeit, daß  $U > r$  (für jeden Versuch) ist.

$(1 - p)$  ist die Wahrscheinlichkeit, daß  $U < r$  ist.

Hierbei ist die Anzahl der Versuche gleich der Anzahl der Jahre.

Die mittlere Wiederholungsperiode ist gleich dem Erwartungswert von  $T$ .

$$E[T] = \sum_{t=1}^{\infty} t \cdot p \cdot (1 - p)^{t-1} = p \cdot [1 + 2 \cdot (1 - p) + 3 \cdot (1 - p)^2 + \dots] = \frac{p}{[1 - (1 - p)]^2}$$

$$E[T] = \frac{1}{p} = \frac{1}{1 - F_U(r)} \quad (2.37)$$

$$E[T] = \mu_{T_R} = \frac{1}{1 - F_U(r)} \quad (2.38)$$

$$F_U(r) = 1 - \frac{1}{\mu_{T_R}} \quad (2.39)$$

Die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten des Niveaus  $r$  ist damit

$$P[U > r] = 1 - F_U(r) = \frac{1}{\mu_{T_R}} \quad (2.40)$$

Nach Eurocode 1 (ENV 1991) [3], Part 1: Basis of Design, Abschnitt 2.1, dürfen die Extremlasten, die eine Struktur zum Versagen führen können, einmal innerhalb von 50 Jahren auftreten.

Nach Gleichung (2.40) beträgt damit die Überschreitungswahrscheinlichkeit

$$P[U > r] = 1 - F_U(r) = \frac{1}{50} = 0,02$$

$$P_U = 0,02 \quad (2.41)$$

## 2.7 Rechentechnische Umsetzung

Die Berechnung erfolgte mit dem Programm **SLang** [73, 74]. SLang ist ein Programm, welches von Christian Bucher und York Schorling am Institut für Strukturmechanik der Bauhaus- Universität Weimar entwickelt wurde. Der Name SLang ergibt sich aus den Wörtern Structural Language zusammen. Slang beinhaltet Finite Element Methoden und probabi-listische Verfahren zur Modellierung von stochastischen Belastungen und physikalischen Streuungen. Zur Untersuchung des Einflusses von Zufälligkeiten u.a. in den Belastungen mit der Monte-Carlo-Methode werden Zufallsvariablen verwaltet, die über Typ, Mittelwert und Standardabweichungen festgelegt werden.

Der Kern des Programms ist ein Kommandointerpreter, der über ein oder mehrere Kommandos wie z. B. Lösung eines Gleichungssystems, definieren von Zufallsvariablen und Aufbau von Elementmatrizen komplexe Aufgaben löst. So lassen sich viele Befehle (Kommandos) hintereinander in einen Satz bauen. Vom Anwender werden programmierte Berechnungsabläufe verlangt, die sequentiell bearbeitet werden.

Slang stellt eine Reihe von finiten Elementen unterschiedlichster Form zur Verfügung. Die Eingabe eines Systems aus finiten Elementen erfolgt über Knoten, die durch ihre Koordinaten im zwei- oder dreidimensionalen Raum festgelegt werden. Diese Knoten bilden die Eckpunkte der ihnen zugeordneten Elemente. An den Knoten lassen sich Freiheitsgrade reduzieren, so daß Auflagerbedingungen geschaffen werden können.



Lasten können als Knotenlasten oder Flächenlasten eingegeben werden. Flächenlasten werden dabei programmintern in Knotenlasten umgewandelt. Eigenlasten können vom Programm aus den den Elementen zugeordneten Querschnitts- und Stoffwerten selbständig ermittelt werden. Knoten, Elemente und Belastungen können zu Gruppen zusammengefaßt werden. Querschnittswerte und Belastungen können ihnen so gemeinsam zugeordnet werden.

Die mit SLang errechneten Stichproben können weiterhin statistisch mit SLang ausgewertet werden. Dabei können die interessierenden Quantilwerte durch numerische Integration ermittelt werden.

Die Stichproben werden mathematisch definierten Verteilungen angepaßt. Für die Anpassung der Stichproben an die gewöhnlichen Verteilungen wird das Programm STATREL verwendet.

STATREL [126] ist ein Programm zur statistischen Auswertung von Zahlenfolgen. Neben der Berechnung von Parametern von Stichproben, der Ausgabe von Histogrammen und Häufigkeitsverteilungen lassen sich u.a. auch Anpassungen von Verteilungen und Berechnungen von Quantilwerten durchführen. Aus den Stichproben werden empirische Verteilungen berechnet und grafisch dargestellt. Es wird versucht, zumindest qualitativ eine gewisse Vorstellung zu schaffen, ob die empirische Verteilung bekannten theoretischen Verteilungen nahekommt oder nicht, indem das Häufigkeitspolygon und die Verteilungskurve verglichen werden. Es ist dann zu überlegen, welche bekannten theoretischen Verteilungen in Frage kommen. Nach Literaturaussagen werden die logarithmische Verteilung, die Gumbelverteilung I und die Gaußsche Normalverteilung angesetzt. Sie werden nachträglich geprüft, wozu folgende Anpassungstests zur Verfügung stehen:

- Chi-Quadrat Test
- Kolmogoroff-Smirnow Test
- Anderson-Darling Test.

Die unbekannten Parameter der theoretischen Verteilung werden durch ihre empirischen Schätzungen ersetzt. Man legt fest, welche Testgröße geeignet ist, die Abweichung zwischen der theoretischen und empirischen Verteilung zu messen. Als Testgröße wird das Signifikanzniveau gewählt.

Der Chi-Quadrat Test und der Kolmogoroff-Sminow Test wurden für normalverteilte Daten entwickelt. Sie sind auch auf andere Verteilungen anwendbar. Nach Rackwitz [126] ist für die Extrembereiche der Anderson-Darlington Test geeignet. Zusätzlich kann man sich durch die grafische Darstellung vom Ergebnis überzeugen. Die grafische Darstellung liefert keine quantifizierbare Information. Sie liefert Hinweise, ob eine angenommene Verteilung sinnvoll ist. Die Grundlagen zu den Anpassungstests sind u. a. in [117], [124] und [126] zu finden.

Als Orientierung gibt Rackwitz [126] die folgenden Zahlen für das Signifikanzniveau in Abhängigkeit vom Ausmaß der Auswirkungen infolge falscher Entscheidungen an:

Tabelle 2.19: Signifikanzniveau

Ausmaß der Auswirkungen falscher Entscheidungen	Signifikanzniveau
Gering	0,01
Mittel	0,05
Groß	0,10

Für das Ausmaß wird "Mittel" gewählt.

Ist die Anpassung der Verteilung schlecht, wird eine andere Verteilungsfunktion gewählt oder es werden die Parameter entsprechend geändert, bis eine gute Anpassung an die Simulationswerte erreicht wird.

## 2.8 Berechnungen und Ergebnisse zu charakteristischen Werten von Nutzlasten

In diesem Abschnitt werden charakteristische Werte der Nutzlasten berechnet. Mit diesen Werten sollen Annahmen für die Parameter von Nutzlasten überprüft werden. Die Überprüfung erfolgt durch den Vergleich der berechneten Ergebnisse mit den

charakteristischen Werte der Nutzlasten nach dem Eurocode 1. Ist eine gute Übereinstimmung vorhanden, werden die Parameter der Nutzlasten für die Berechnung von Abminderungsfaktoren weiter verwendet.

### **2.8.1 Berechnung der charakteristischen Werte von Bürolasten**

Eingabewerte für Bürolasten:

#### **Dauerlasten:**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.16 entnommen.

Einwirkungsdauer:

Zwei Varianten werden untersucht:

- 1. Variante: Exponentialverteilung (Mittelwert = 5 Jahre; Standardabweichung = 5 Jahre)
- 2. Variante: Exponentialverteilung (Mittelwert = 8 Jahre; Standardabweichung = 8 Jahre)

Zeit, in der die Dauerlasten nicht wirken:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

#### **Kurzzeitlasten:**

##### **a) Menschenansammlungen**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.17 entnommen.

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 6 Stunden; Standardabweichung = 6 Stunden)

Erneuerung:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2,5 Jahre; Standardabweichung = 2,5 Jahre)

##### **b) Renovierung**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.17 entnommen.

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

Erneuerung:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 5 Jahre; Standardabweichung = 5 Jahre)

Tabelle 2.20: Charakteristische Werte der Nutzlasten für Bürogebäude  
(Auswertung mit der Gumbelverteilung (max))

Überlagerungsart	Charakteristischer Wert in kN/m <sup>2</sup>			
Wiederholungsperiode	50 Jahre	100 Jahre	200 Jahre	500 Jahre
Dauerlasten (Einwirkungsdauer = 8 Jahre) + Menschenansammlungen	1,9 (2,0)	2,2 (2,4)	2,6 (2,9)	3,2 (3,8)
Dauerlasten (Einwirkungsdauer = 5 Jahre) + Nutzlasten aus Renovierung	2,0 (2,1)	2,4 (2,7)	2,7 (3,2)	3,2 (4,0)
Dauerlasten (Einwirkungsdauer = 8 Jahre) + Nutzlasten aus Renovierung	2,1 (2,4)	2,5 (2,9)	3,0 (3,6)	3,7 (4,8)

Die Werte in den Klammern entsprechen den charakteristischen Werten der Nutzlasten aus der Auswertung mit der Lognormalverteilung.

Ein Auszug der Auswertung für den Fall **Dauerlasten (Einwirkungsdauer = 5 Jahre) + Nutzlasten aus Renovierung** mit dem Programm STATREL sieht wie folgt aus:

\* Quantiles \*

Sample name: EXTR\*

Selected variable: NUTZLAST

Asymptotic upper confidence bound for upper quantile.

Selected stochastic model: Gumbel (max) (7)

Parameter 1 : u .526672

Parameter 2 : alpha 2.89151

Selected quantile probability: .980000

Selected exceedance probability: .000000

Expectation for upper quantile: 1.87612

Upper confidence bound: 2.00328

The probability that the upper quantile of a random sample  
is smaller than the upper confidence bound is 1.000000

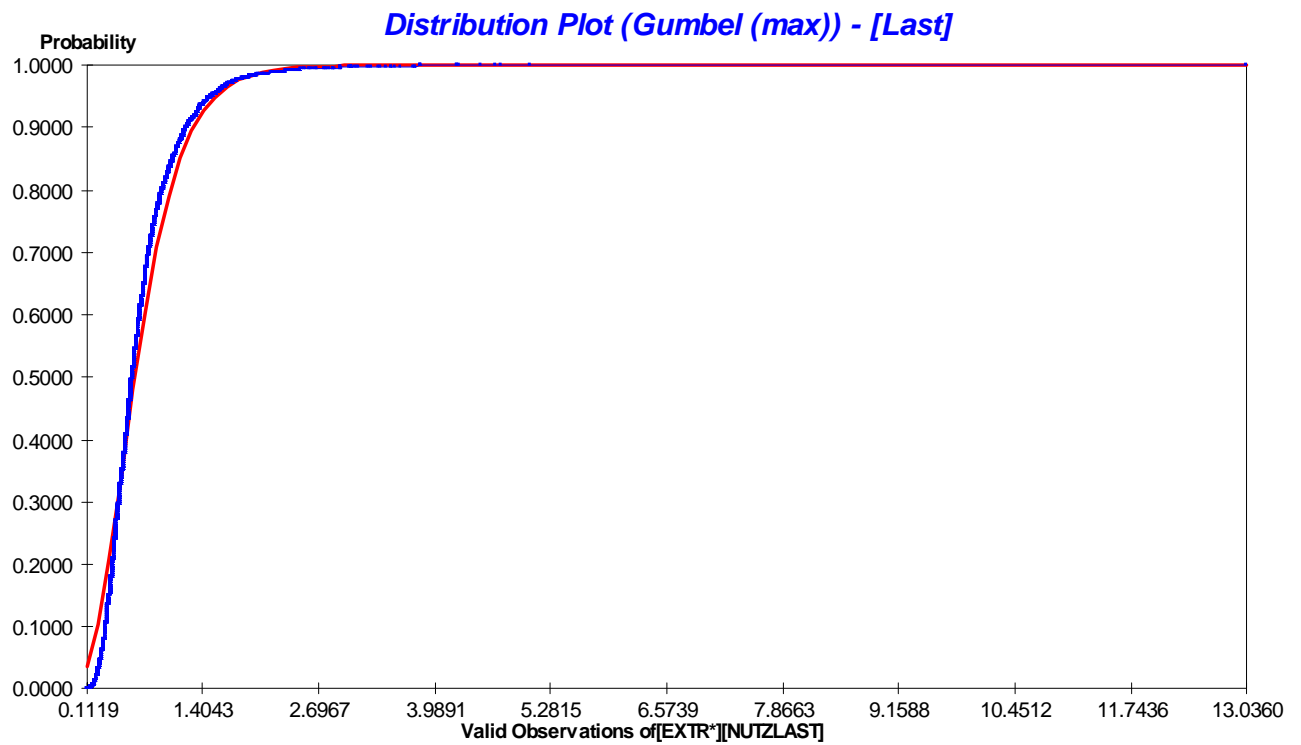


Abbildung 2.8: Anpassung der Verteilung der Extremwerte mit der Gumbelverteilung (max)

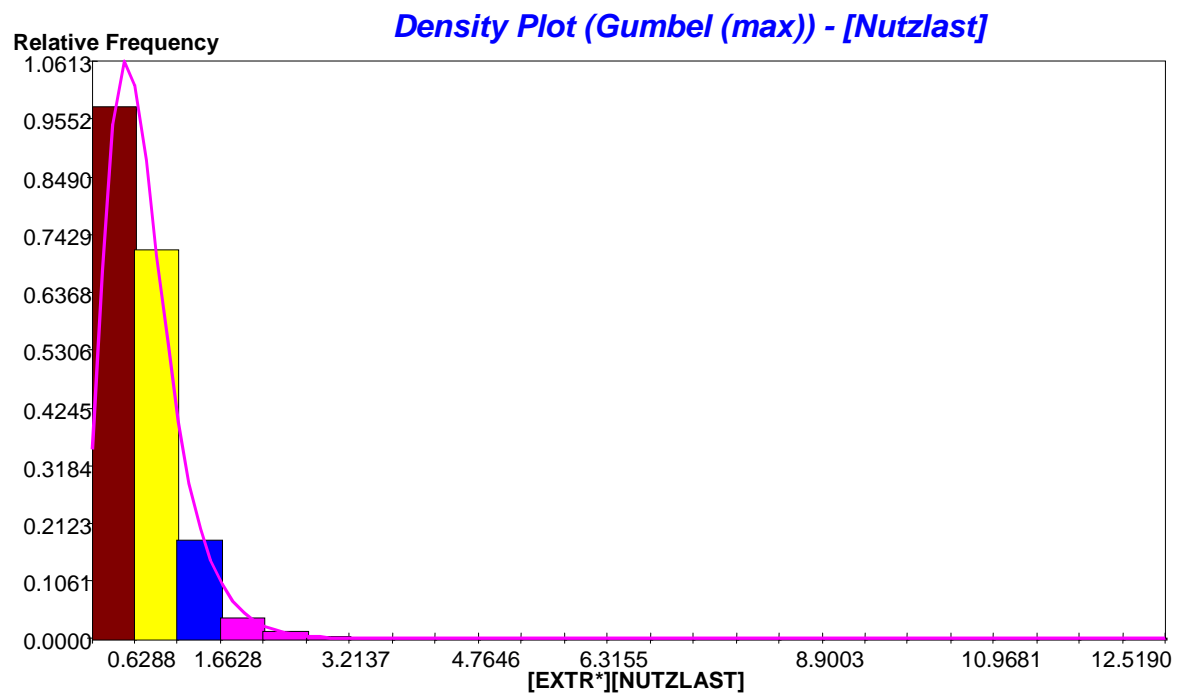


Abbildung 2.9: Relative Häufigkeitsverteilung der Extremwerte der Nutzlasten

\* Testing \*

Selected testing method: Anderson-Darling test

Sample name: EXTR\*

Selected variable: NUTZLAST

The variable is compared with a distribution function.

Selected model: Gumbel (max) (7)

Parameter 1 : u .522549

Parameter 2 : alpha 2.86364

Significance level: > 0.15

Critical significance level: .050000

The hypothesis should not be rejected

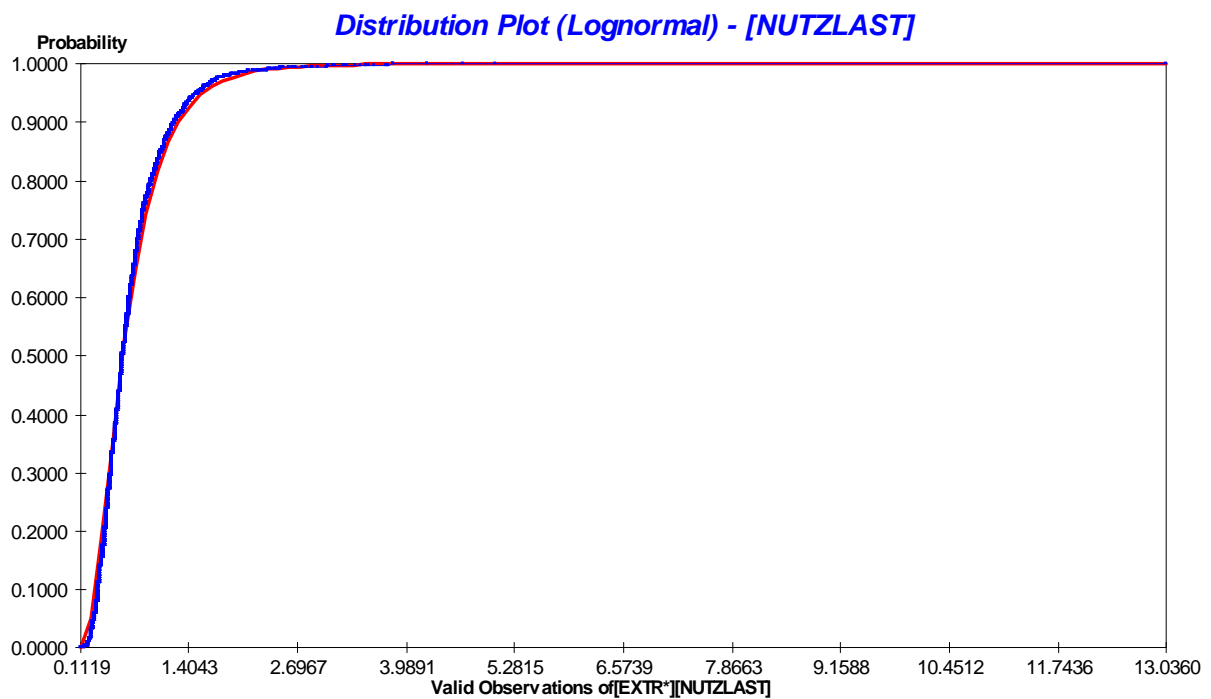


Abbildung 2.10: Anpassung der Verteilung der Extremwerte mit der Lognormalverteilung

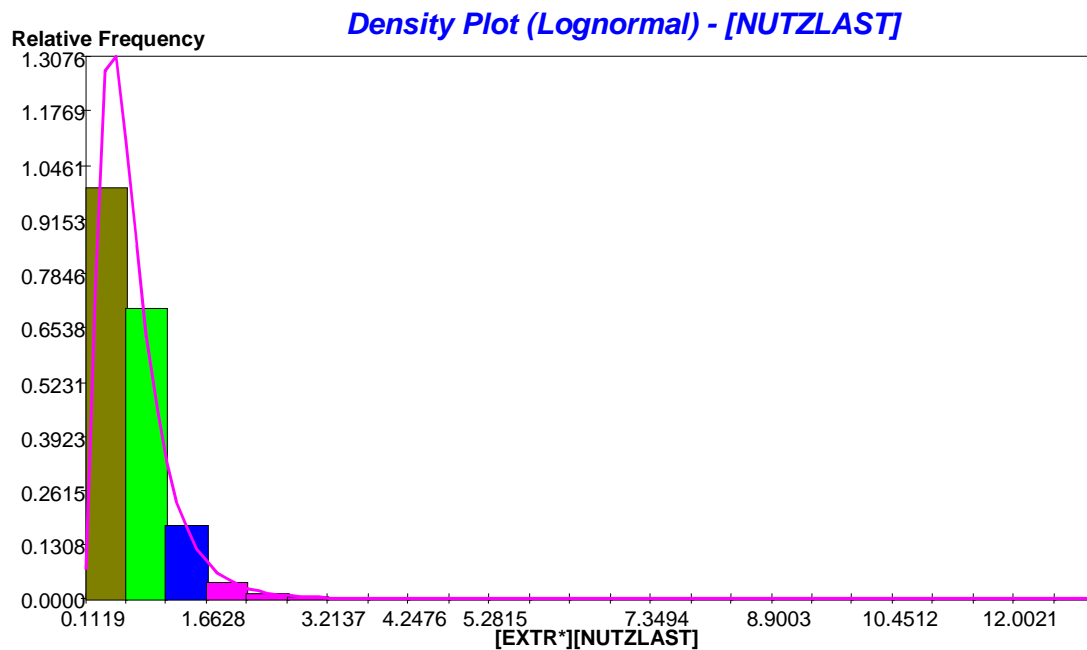


Abbildung 2.13: Relative Häufigkeitsverteilung der Extremwerte der Nutzlasten

**\* Testing \***

Selected testing method: Anderson-Darling test

Sample name: EXTR\*

Selected variable: NUTZLAST

The variable is compared with a distribution function.

Selected model: Lognormal (3)

Parameter 1 : xi .615839

Parameter 2 : delta .569152

Significance level: > 0.15

Critical significance level: .05000

The hypothesis should not be rejected.

**\* Quantiles \***

Sample name: EXTR\*

Selected variable: NUTZLAST

Asymptotic upper confidence bound for upper quantile.

Selected stochastic model: Lognormal (3)

Parameter 1 :  $x_i$  .619846

Parameter 2 :  $\delta$  .563006

Selected quantile probability: .980000

Selected exceedance probability: .000000

Expectation for upper quantile: 1.96991

Upper confidence bound: 2.13665

The probability that the upper quantile of a random sample  
is smaller than the upper confidence bound is 1.000000

## **2.8.2 Berechnung der charakteristischen Werte von Nutzlasten in Wohngebäuden**

Eingabewerte für die Nutzlasten:

### **Dauerlasten:**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.16 entnommen.

Die Zeit, in der die Dauerlasten nicht wirken:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

### **Kurzzeitlasten:**

#### **a) Menschenansammlungen**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.17 entnommen.

Erneuerung:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Jahr; Standardabweichung = 2 Jahr)

#### **b) Renovierung**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.17 entnommen.

Erneuerung:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 8 Jahre; Standardabweichung = 8 Jahre)



Tabelle 2.21: Ergebnisse: Charakteristische Werte der Nutzlasten für Wohngebäude  
(Auswertung mit der Gumbelverteilung (max)).

Überlagerungsart	Charakteristischer Wert in kN/m <sup>2</sup>			
Wiederholungsperiode	50 Jahre	100 Jahre	200 Jahre	500 Jahre
Dauerlasten + Menschenansammlungen	3,3 (3,8)	4,0 (4,9)	4,7 (6,3)	5,9 (8,8)
Dauerlasten + Nutzlasten aus Renovierung	1,6 (1,6)	1,8 (1,8)	2,1 (2,1)	2,5 (2,6)

### 2.8.3 Berechnung der charakteristischen Werte von Nutzlasten in Hotelzimmern

Eingabewerte für die Nutzlasten:

#### **Dauerlasten:**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.16 entnommen.

Die Zeit, in der die Dauerlasten nicht wirken:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

#### **Kurzzeitlasten:**

##### **a) Menschenansammlungen**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.17 entnommen.

Erneuerung:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 1 Jahr; Standardabweichung = 1 Jahr)

##### **b) Renovierung**

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.17 entnommen.

Erneuerung:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Jahre; Standardabweichung = 2 Jahre)

Tabelle 2.22: Charakteristische Werte der Nutzlasten für Hotelzimmer  
(Auswertung mit der Gumbelverteilung (max)).

Überlagerungsart	Charakteristischer Wert in kN/m <sup>2</sup>			
	50 Jahre	100 Jahre	200 Jahre	500 Jahre
Dauerlasten + Menschenansammlungen	1,6 (1,6)	1,8 (1,8)	2,1 (2,1)	2,5 (2,6)
Dauerlasten + Nutzlasten aus Renovierung	1,1 (1,0)	1,2 (1,2)	1,4 (1,4)	1,7 (1,7)

Tabelle 2.23: Gegenüberstellung der Ergebnisse

Nutzungsart	DIN 1055	EC 1	vorliegende Berechnungen (probabilistisch)
Hotelzimmer	2,0	2,0	1,6
Wohngebäude	2,0	2,0	1,6
Treppen bzw. Treppenzugänge Korridore	3,5	3,0	3,8
Bürogebäude	2,0	3,0	2,4

## 2.8.4 Fehleruntersuchung zur Nutzlastenermittlung

Im Abschnitt 2.2.2 wurden Festlegungen zu Nutzlasten auf der Grundlage von Angaben in der Literatur getroffen. Um den Einfluß möglicher Fehler auf die Größe der charakteristischen Werte der Nutzlasten abzuschätzen, wurde eine Variantenuntersuchung mit dem Vorgehen nach Abschnitt 2.3 für Bürogebäude durchgeführt.

### Eingabedaten:

Für die Zeiträume der Lastwirkungen werden die folgenden Festlegungen getroffen, die bei der Untersuchung nicht variiert werden:

### Dauerlasten:

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 8 Jahre; Standardabweichung = 8 Jahre)

Die Zeit, in der die Dauerlasten nicht wirken:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

**Kurzzeitlasten (Renovierung):**

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

Erneuerung:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 5 Jahre; Standardabweichung = 5 Jahre)

Tabelle 2.24 Untersuchte Varianten

Variante	Dauerlasten		Kurzzeitlasten	
	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standardabweichung [kN/m <sup>2</sup> ]	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standardabweichung [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0,9	0,3	0,5	0,5
2	0,9	0,3	0,75	0,5
3	0,9	0,45	0,75	0,75

Tabelle 2.25: Vergleich der Ergebnisse:

Nutzung: Bürolasten	98 %-Quantilwert der Extremwerte [kN/m <sup>2</sup> ]
Variante 1: Mittelwerte der Dauerlasten um 50 % erhöht	2.48
Variante 2: Mittelwerte der Dauerlasten und Kurzzeitlasten um 50 % erhöht	2.71
Variante 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Dauerlasten und Kurzzeitlasten um 50 % erhöht	3.05
charakteristische Werte der Nutzlasten nach EC1	3.0

Tabelle 2.26 dient der Fehlerbetrachtung in allen drei Nutzungskategorien.

Tabelle 2.26: Vergleich der Ergebnisse

Nutzungsart	EC 1	probabilistisch Berechnungen	Parameter der Dauerlasten und Kurzzeitlasten um 50 % erhöht
Hotelzimmer	2,0	1,6	2,01
Wohngebäude	2,0	1,6	2,01
Bürogebäude	3,0	2,4	3,05

### Schlußfolgerungen:

Die ermittelten charakteristischen Werte nach Tabelle 2.26 der Nutzlasten für Bürogebäude, Wohngebäude und Hotelgebäude weichen wenig von denen nach EC 1 ab.

Dieses Ergebnis zeigt, daß die Annahmen der Nutzlastparameter nach Abschnitt 2.2.2 für die Ermittlung der Abminderungsfaktoren eine gute Grundlage bilden.

## 3 Überlagerung von Nutzlasten im Geschoßbau

### 3.1 Abminderungsfaktoren im Geschoßbau

#### 3.1.1 Stand in der EU-Normung

In den Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton, "Deutscher Ausschuß für Eisenbeton 1932" steht:

“Bei der Berechnung von Säulen in Hochbauten, die Lasten mehrerer Geschosse aufzunehmen haben, können, soweit nicht nach den jeweils gültigen amtlichen Belastungsvorschriften die Nutzlasten in den unteren Stockwerken abgemindert werden dürfen, mit Rücksicht auf die in den Säulen der unteren Stockwerke herrschenden günstigeren statischen Verhältnisse die zulässigen Spannungen bzw. der Wert  $K_b/3$ , wie folgt erhöht werden:

im 1. Bis 3. Stockwerk von oben	um 0 kg/cm <sup>2</sup>
im 4. Stockwerk von Oben	um 5 kg/cm <sup>2</sup>
im 5. Stockwerk und in den folgenden Stockwerken von oben	um 10 kg/cm <sup>2</sup> “

Eine Erweiterung erfolgte in der DIN 1055, die noch Gültigkeit besitzt. Hierbei sind die Abminderungsfaktoren für Wohngebäude und Bürogebäude als bezogene Größen angegeben (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Abminderungsfaktoren für die Nutzlasten bei mehrgeschossigen Gebäuden mit gleicher Nutzlast in allen Geschossen nach DIN 1055

Geschosse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\alpha$	1	1	1	0,95	0,88	0,80	0,71	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60

Die Reduzierung von Stützenlasten bei mehreren Geschossen wurde auch in den USA in den siebziger Jahren diskutiert. So steht in der New York City Building Code C26-348.0, daß

- die Verkehrslasten nur mit 85 % (ab 2 Geschosse) ihrer Bemessungswerte in die Bemessung der Stützen eingehen, wenn das Bauwerk mit Lagergütern belastet wird,
- bei anderen Nutzungsarten die Abminderung der Verkehrslasten nach Abb. 3.1 erfolgt.

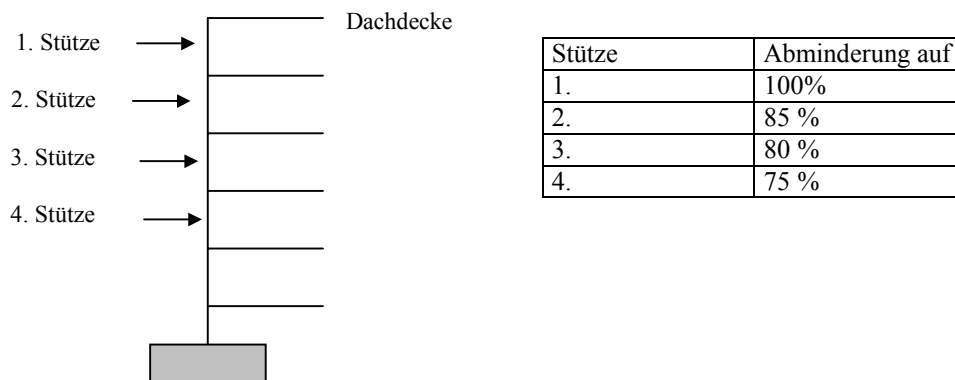


Abbildung 3.1: Abminderung der Stützenlasten

Johnson [35] gibt die folgende Gleichung (BOCA, 1965)

$$D + L = (D + L - R) \cdot 1,3 \quad (3.1)$$

R = Abminderung [%]

D = ständige Lasten [psf]

L = Verkehrslasten [psf]

1,3 = 30 % Überlastung durch unerwartete Belastungszustände

Nach Umformung der Gleichung (3.1) kommt Johnson [35] auf die Gleichung (3.2)

$$R = 100 \cdot \frac{D + L}{4.33 \cdot L} \quad (3.2)$$

Die Gleichung (3.2) gilt, wenn die Einflußfläche der Stütze mindestens 14 m<sup>2</sup> beträgt. Bei kleineren Einflußflächen ist keine Abminderung vorzunehmen.

Die Abminderung darf nicht 60 % überschreiten. Paragraph 721.2 (BOCA) erlaubt eine Abminderung der Stützenlasten um 20 %, wenn die Verkehrslasten größer als 4,75 kN/m<sup>2</sup> sind.

Die National Building Code of Canada (1970) enthält die folgenden Abminderungsfaktoren:

$$R = 0,5 + \frac{15}{\sqrt{A}} \quad (3.3)$$

für Einflußflächen  $A > 900 \text{ sq. ft. (83,5 m}^2\text{)}$  und

$$R = 0,3 + \frac{10}{\sqrt{A}} \quad (3.4)$$

für Einflußflächen  $200 (18,5 \text{ m}^2) < A < 900 (83,5) \text{ sq. ft.}$

Das Verhältnis von Nutzlasten zur Abminderung von Stützenlasten in Geschoßbauten ist in „Background Document Eurocode For Actions on Structures, Imposed Loads on Floors and Roofs, June 1990“ [18] zu finden. In diesem Dokument ist eine Zusammenfassung der Berechnungsmethoden der verschiedenen EU-Länder (Belgien, BRD, Dänemark, Spanien, Frankreich, Großbritannien, Italien, Niederlande und Portugal) dargestellt.

Nach dem Sicherheitskonzept des Eurocodes sollten die charakteristischen Werte der Nutzlasten aus statistischen Informationen der Nutzlasten ermittelt werden. Diese charakteristischen Werte müßten bestimmten Wahrscheinlichkeiten und Wiederholungsperioden entsprechen. Leider konnten diese wichtigen Voraussetzungen nicht geschaffen werden, weil der Umfang der Meßwerte nicht ausreichte.

Ein pragmatischer Weg war der Normenvergleich. Hierbei wurde wie folgt vorgegangen:

- Die Lastannahmen nach verschiedenen Normen wurden zusammengestellt.
- Die charakteristischen Werte sowie die Mittelwerte und Standardabweichungen der Nutzlasten wurden verglichen.
- Es wurde dann entschieden, welche Werte anzusetzen sind. Dabei wurde nur über die Größe der Nutzlasten entschieden. Festlegungen zu den Wahrscheinlichkeiten und Wiederholungsperioden waren nicht möglich.
- Durch Vergleich verschiedener Abminderungsmethoden der oben genannten EU-Länder wurden Abminderungen der Stützenlasten festgelegt.

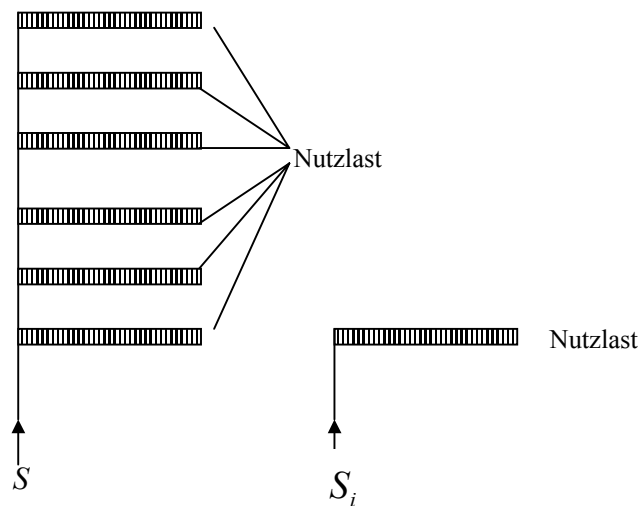


Abbildung 3.2: Abminderung der Stützenlasten

Ist  $S_i$  die Stützenlast aus einem Geschoß  $i$ , bekommt die Stütze im untersten Geschoß eine Gesamtlast von

$$S = \sum_{i=1}^n S_i . \quad (3.5)$$

Die Stützenlast  $S$  (Abb. 3.2) darf abgemindert werden, um die Zeitabhängigkeit und räumliche Verteilung der Nutzlasten zu berücksichtigen.

Das erfolgt mit:

$$S_{red} = \alpha \sum_{i=1}^n S_i . \quad (3.6)$$

$\alpha$  ist der Abminderungsfaktor und  $n$  ist die Anzahl der Geschosse.

Das Ergebnis ist die folgende Gleichung (3.7):

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2) \cdot \psi_0}{n} \quad \text{mit } n > 2 \text{ und } \psi_0 = 0,7 \quad (3.7)$$

$n > 2$  beschreibt die Anzahl der Geschosse .

Die Abminderungen nach Gleichung (3.7) gelten nur für Geschosßbauten mit Wohn- oder Bürofunktionen. Für Garagen und Parkhäuser hängt der Abminderungsfaktor von der Parkfläche ab (ENV 1991-2-1).

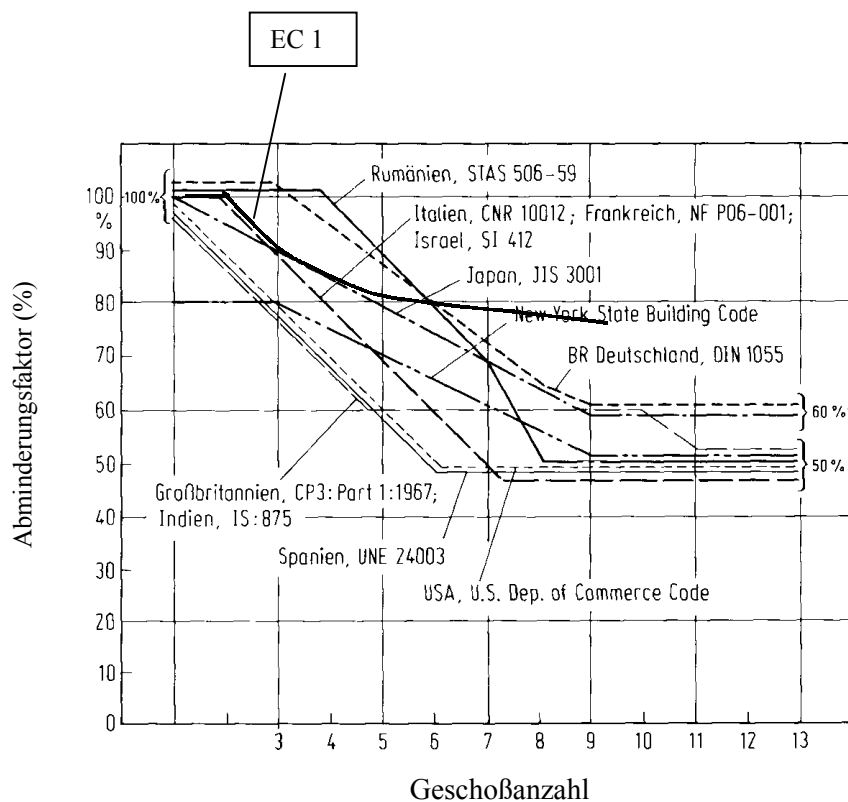


Abbildung 3.3: Normenvergleich zur Reduktion von Nutzlasten für mehrgeschossige Gebäude nach [28]



Die Abminderung der veränderlichen Einwirkungen infolge der Geschoßanzahl gemäß Gleichung (3.7) basiert nicht auf einer stochastischen Untersuchung. Sie stellt eine Kompromißlösung für die verschiedenen in der EU geltenden nationalen Normen dar [18] (Kapitel 5, Seite 38).

Beim Vergleich der nationalen Normen wurden Unterschiede festgestellt

- bei der Methode der Reduzierung (nach Geschoßanzahl oder Fläche)
- bei der Klassifizierung (Einordnung in Kategorien)
- und bei den Lastwerten selbst.

Der im EC 1 angegebene Kombinationsbeiwert von  $\psi_0 = 0,7$  stellt einen Grenzwert für  $n \rightarrow \infty$  dar. Sämtliche Kategorien wurden hinsichtlich der Nutzungsarten der Gebäude eingeführt. Dabei charakterisiert diese Einteilung in Kategorien die Wahrscheinlichkeit einer,

zumindest zeitweiligen, Überlastung. In Kategorie A, welche für Wohnräume steht, ist die Wahrscheinlichkeit der Überlastung am geringsten.

Für Kategorie E hingegen, sie umfaßt Lagerräume, ist die Wahrscheinlichkeit am größten. Für diese Art der Nutzung darf keine Reduzierung vorgenommen werden.

Ab sechs Geschossen sind die Abminderungen nach EC 1 am geringsten im Vergleich zu allen anderen Normen (Abb. 3.3). Bis zu vier Geschosse sind die Abminderungsfaktoren nach EC 1 etwa die Durchschnittswerte der Werte in den EU Länder.

Aus dieser Kompromißlösung ist es nicht möglich, eine Aussage zu finden, mit welcher Wahrscheinlichkeit die abgeminderten Stützenlasten überschritten werden dürfen. Weiterhin bleiben die folgenden Fragen offen:

- Mit welcher Wahrscheinlichkeit dürfen die Nutzlasten eintreten?
- Welche Ansätze werden für die räumliche Verteilung der Nutzlasten verwendet?
- Welche Verteilungsfunktion der Nutzlasten ist anzusetzen Ansatz?

- Welchen Einfluß haben die Verteilungsfunktionen auf die Abminderungsfaktoren?
- Welcher Variationskoeffizient wurde für die Nutzlasten gewählt?

### 3.1.2 Vorgehen auf stochastischer Grundlage

In der vorliegenden Arbeit werden die Abminderungsfaktoren so bestimmt, daß die Überschreitungswahrscheinlichkeit  $P_{\bar{u}}$  des charakteristischen Wertes  $F_k$  der Stützenlast eines Geschosses gleich ist der Überschreitungswahrscheinlichkeit des charakteristischen Wertes  $F_{k_n}$  der Stützenlast von  $n$  Geschossen.

$$P \left[ \text{ext} \left\{ \sum_{i=1}^n S_i \right\} > \alpha \cdot n \cdot F_k \right] = P \left[ \text{ext}_{t=1 \text{ Jahr}} S_1 > F_k \right] = P_{\bar{u}} \quad ; \quad \alpha \cdot n \cdot F_k = F_{k_n} \quad (3.8)$$

Bei einer gegebenen Verteilung  $F$  folgt daraus:

$$F_k = F_{\text{ext } S_1}^{-1}(P_{\bar{u}}) \quad (3.9)$$

$$F_{\text{ext } S_1}(F_k) = P_{\bar{u}} \quad (3.10)$$

Bei mehreren Geschossen ist es

$$F_{\text{ext } \sum S_i}(\alpha \cdot n \cdot F_k) = P_{\bar{u}} \quad (3.11)$$

$$\alpha \cdot n \cdot F_k = F_{\text{ext } \sum S_i}^{-1}(P_{\bar{u}}) \quad (3.12)$$

$$F_k = \frac{F_{\text{ext } \sum S_i}^{-1}(P_{\bar{u}})}{\alpha \cdot n} \quad (3.13)$$

Mit den Gleichungen (3.9) und (3.13) folgt die Beziehung:

$$\alpha = \frac{F_{\text{ext } \sum S_i}^{-1}(P_{\bar{u}})}{n \cdot F_{\text{ext } S_1}^{-1}(P_{\bar{u}})} \quad (3.14)$$

Anstelle der charakteristischen Werten können auch Bemessungswerte verwendet werden. Mit den Bemessungswerten folgt:

$$P\left[\underset{t=1.Jahr}{ext}\left\{\sum_{i=1}^n S_i\right\}>\alpha\cdot n\cdot\gamma_f\cdot F_k\right]=P\left[\underset{t=1.Jahr}{ext} S_1>\gamma_f\cdot F_k\right]=P_{\ddot{u}} \quad (3.15)$$

Bei einer gegebenen Verteilung  $F$  folgt daraus:

$$\gamma_f\cdot F_k = F_{ext S_i}^{-1}(P_{\ddot{u}}) \quad (3.16)$$

$$F_{ext \sum S_i}(\alpha\cdot n\cdot\gamma_f\cdot F_k)=P_{\ddot{u}}. \quad (3.17)$$

$$\alpha\cdot n\cdot\gamma_f\cdot F_k = F_{ext \sum S_i}^{-1}(P_{\ddot{u}}) \quad (3.18)$$

$$\gamma_f\cdot F_k = \frac{F_{ext \sum S_i}^{-1}(P_{\ddot{u}})}{\alpha\cdot n} \quad (3.19)$$

Aus Gleichungen (3.16) und (3.19) ergibt sich  $\alpha$  zu

$$\alpha = \frac{F_{ext \sum S_i}^{-1}(P_{\ddot{u}})}{n\cdot F_{ext S_1}^{-1}(P_{\ddot{u}})}. \quad (3.20)$$

Die Gleichungen (3.14) und (3.20) zeigen, daß die Abminderungsfaktoren, die mit den charakteristischen Werten bzw. den Bemessungswerten berechnet werden, gleich sind.

### 3.2 Probabilistisches Modell für die Nutzlasten

Die Realität wird vereinfacht durch folgendes Modell dargestellt:

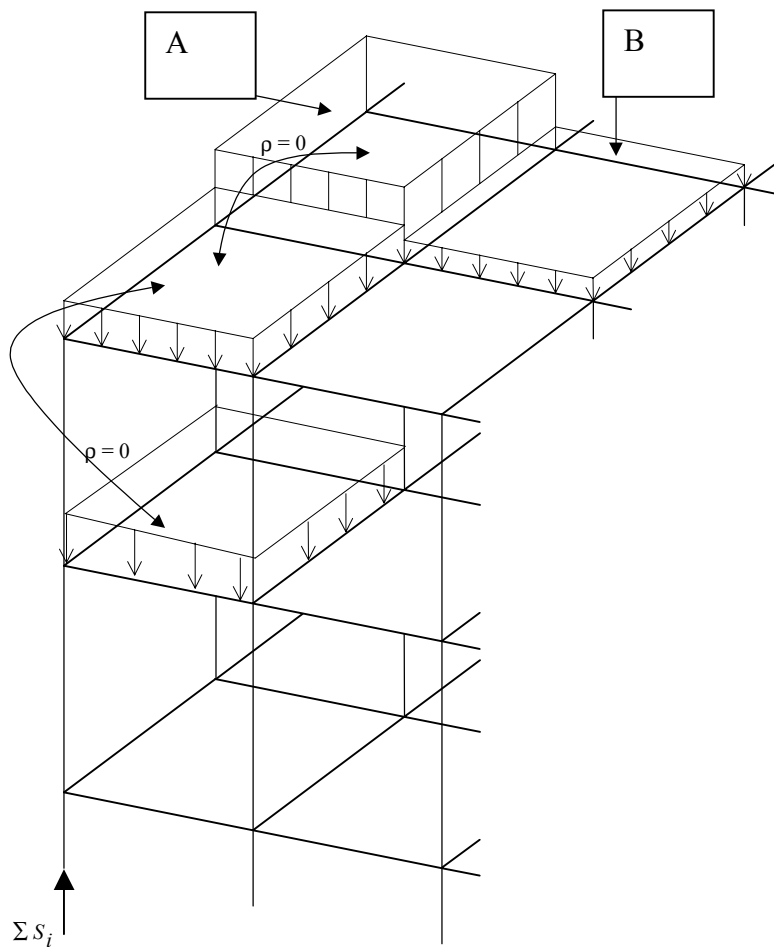


Abbildung 3.4 a: Probabilistisches Modell für die Nutzlasten

Die Deckenflächen setzen sich aus Bezugsflächen zusammen. A und B (Abb. 3.4 a) sind solche Bezugsflächen. Die Größen der Bezugsflächen richten sich nach den Angaben in der Tabelle 2.15. Die Nutzlast auf einer Bezugsfläche wird als gleichförmig verteilt angenommen. Die Korrelation sowohl zwischen den Nutzlasten verschiedener Bezugsflächen innerhalb eines Geschosses als auch zwischen den Deckenfeldern in verschiedenen Geschossen wird mit  $\rho = 0$  angesetzt. Nach [10] geht der Korrelationskoeffizient gegen null, wenn der Abstand zwischen den Schwerpunkten der betrachteten Lasten 2 m überschreitet. Da die Raumtiefen und Raumbreiten von Büro- und Wohngebäuden (Tabelle 2.3) größer als 2 m sind, ist der Ansatz von  $\rho = 0$  hier berechtigt.

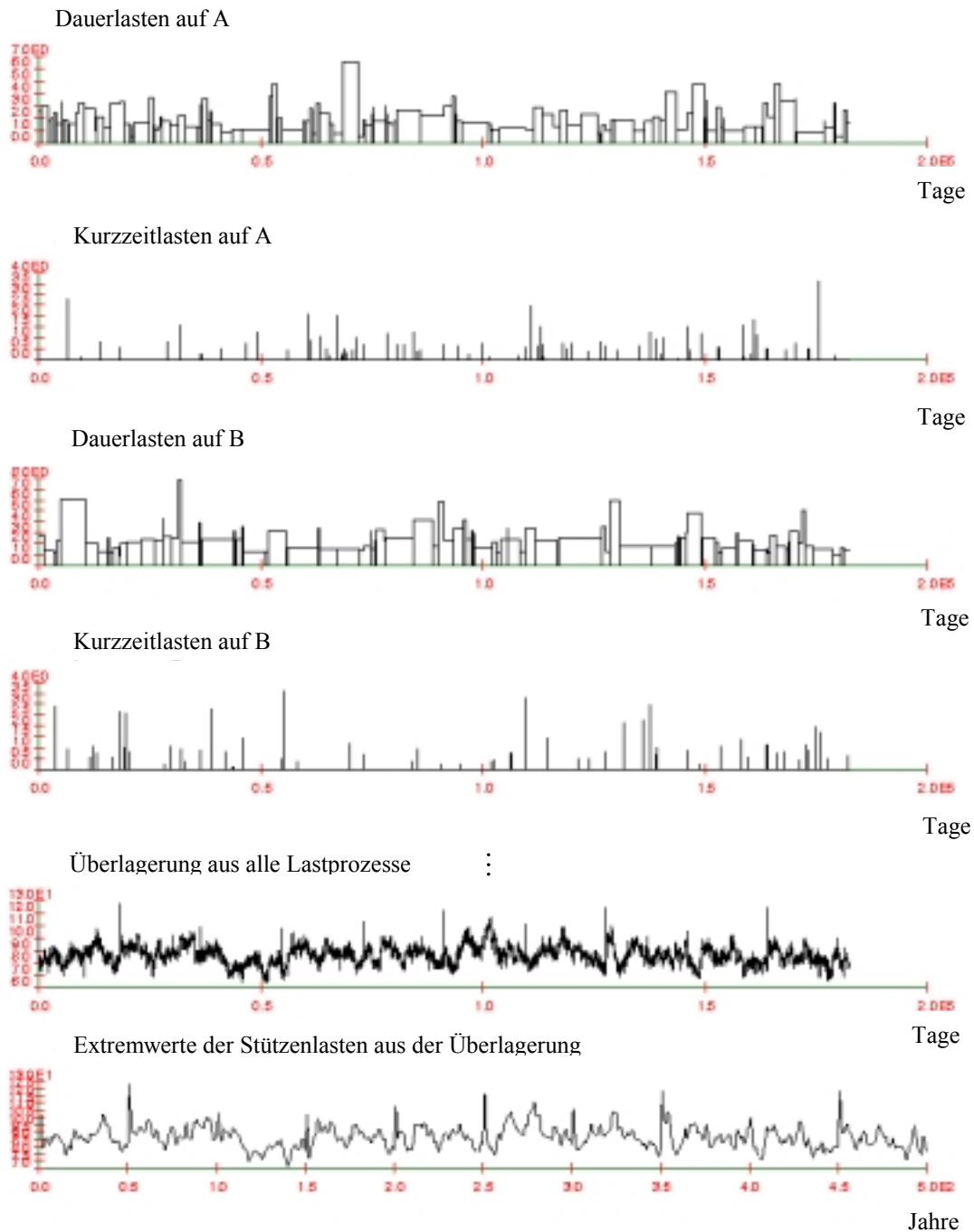


Abbildung 3.4 b: Ermitteln von Stützenlasten aus Lastprozessen

Die Lastwirkung einer Flächenlast wird durch Multiplikation der Last mit dem entsprechenden Übertragungsfaktor der Bezugsfläche berechnet. Zur Berechnung des Übertragungs-

faktors einer Bezugsfläche wird eine deterministische Einheitsflächenlast von  $p = 1\text{kN/m}^2$  auf die Bezugsfläche aufgebracht und die daraus resultierende Stützenkraft berechnet.

Diese Stützenkraft entspricht dem Übertragungsfaktor einer Bezugsfläche. Für jede Bezugsfläche werden 2 Lastprozesse der Kurzzeitlasten und Langzeitlasten simuliert. Die Last- und Zeitparameter werden Tabelle 2.16 und Tabelle 2.17 entnommen. Nach der Simulation der Lastwerte, werden sie mit den entsprechenden Übertragungsfaktoren multipliziert. In der Abb. 3.4b sind die Lastprozesse (Stützenlast - Zeit) für die Bezugsflächen A und B dargestellt. Die Lastprozesse werden für alle Bezugsflächen simuliert, die auf den betrachteten Geschossen liegen. Mit einem Zeitschritt von einem Tag werden die Stützenlasten aus den Dauerlasten und Kurzzeitlasten überlagert. Aus der Überlagerung der Momentanwerte werden jährliche Extremwerte ausgesucht. Dann werden Quantilwerte der Verteilung der Extremwerte berechnet. Mit der Gleichung (3.14) lassen sich die Abminderungsfaktoren bestimmen.

Der Berechnungsalgorithmus ist im Anhang A1 angegeben.

### 3.3 Mechanisches Modell des Tragwerkes

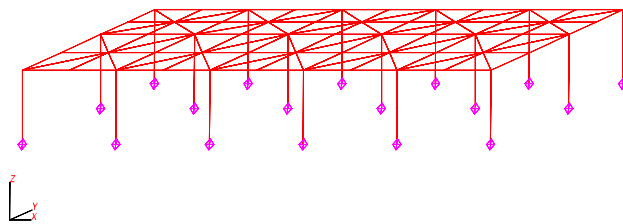


Abbildung 3.5.1: FE-Netz für ein Geschoss

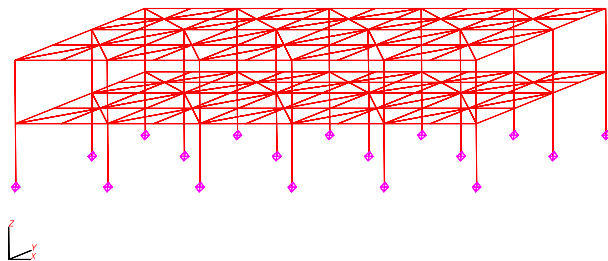


Abbildung 3.5.2: FE-Netz für zwei Geschosse

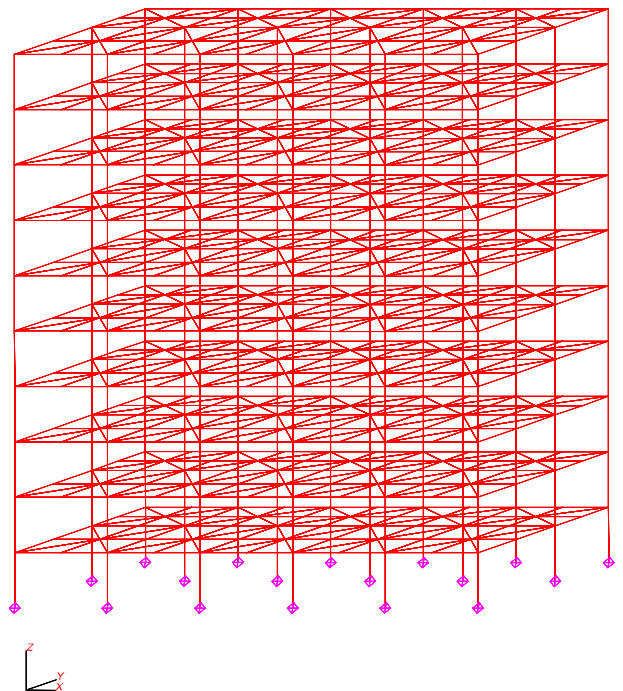


Abbildung 3.5.3: FE-Netz für zehn Geschosse

Die Berechnung der Stützlasten erfolgt mit dem FE-Programm SLang. Die Stützen werden durch Stabelemente mit rechteckigem Querschnitt vom Typ BEAM3D modelliert (Abb. 3.6.1). Für die Decken wird das von SLang zur Verfügung gestellte dreieckige Plattenelement SHELL3N verwendet (Abb. 3.6.2).

Auf diese zwei Elemente soll kurz eingegangen werden. Die lokalen Achsen  $x$ ,  $y$ ,  $z$  des BEAM3D-Elementes können im Globalsystem  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  beliebig liegen. Die  $x$ -Achse wird durch die Koordinaten der Knoten 1 und 2 definiert. Der Knoten 3 dient zur Orientierung des Stabes in der  $X$ - $Y$ -Ebene des  $X$ - $Y$ - $Z$ -Raums. Knoten 3 besitzt keine Freiheitsgrade. Die Knoten 1 und 2 haben jeweils 6 Freiheitsgrade, und zwar 3 Verschiebungen und 3 Rotationen, also insgesamt 12 Freiheitsgrade. Das Element nimmt Kräfte und Momente in allen Richtungen auf. Als Eingabe werden Knotenkoordinaten, der Elastizitätsmodul  $E$ , der Schubmodul  $G$  in den lokalen Achsen  $y$  und  $z$ , die Querschnittsfläche  $A$  und die Flächenträgheitsmomente  $(I_x, I_y, I_z)$  bezüglich lokaler Achsen benötigt. Gelenke können modelliert werden, indem alle 3 Rotationen des Anfang- oder des Endknotens befreit werden.

Das SHELL3N-Element hat 3 Knoten. Die Knotenfreiwerte sind die Verschiebungen in  $X$ - und  $Y$ -Richtung in der Plattenebene sowie die Verschiebung in  $Z$ -Richtung und die Rotationen um die  $X$ - sowie  $Y$ -Achsen für das Plattenbiegeproblem. Grundlage für die Anwendung dieses Elementes ist die Kirchhoff-Theorie. Hinsichtlich der Formulierung der Elementsteifigkeitsmatrizen für das BEAM3D-Element und das SHELL3N-Element wird auf die Literatur verwiesen: [76], [96], [102], [112], [118] und [122].

Die Berechnung erfolgt auf linear elastischer Grundlage. Den Elementen sind Material und Querschnittswerte zuzuordnen. Die Deckenplatten haben eine Dicke von 30 cm. Als Baustoff wird Beton B 25 angesetzt.

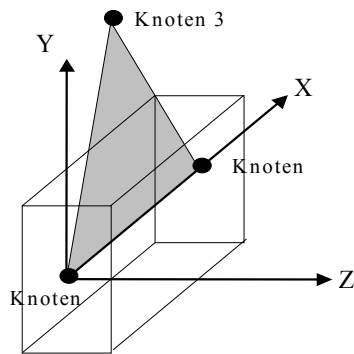


Abbildung 3.6.1: Stützelement BEAM3D

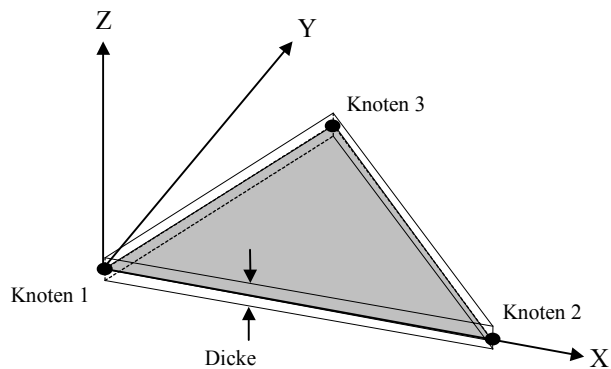


Abbildung 3.6.2: Plattenelement SHELL3N

Der E-Modul wird deterministisch angenommen.

Die Vernetzung der Deckenflächen hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse der Stützenlasten. Mit SLang wird die Bezugsfläche mit Dreieckselementen ausgelegt. Alle Elemente einer Bezugsfläche erhalten die gleiche Flächenlast

Gesucht wird die Stützenlast  $S$ , die entsteht, wenn eine Flächenlast  $Y$  auf eine Bezugsfläche aufgebracht wird.

$$S = a_1 \cdot Y + a_2 \cdot Y + \dots + a_i \cdot Y + \dots + a_r \cdot Y ; i = 1, 2, \dots, r \quad (3.21)$$

$a_1, a_2, \dots, a_r$  sind Übertragungsfaktoren der finiten Elemente.

$r$  ist die Anzahl der finiten Elemente einer Bezugsfläche

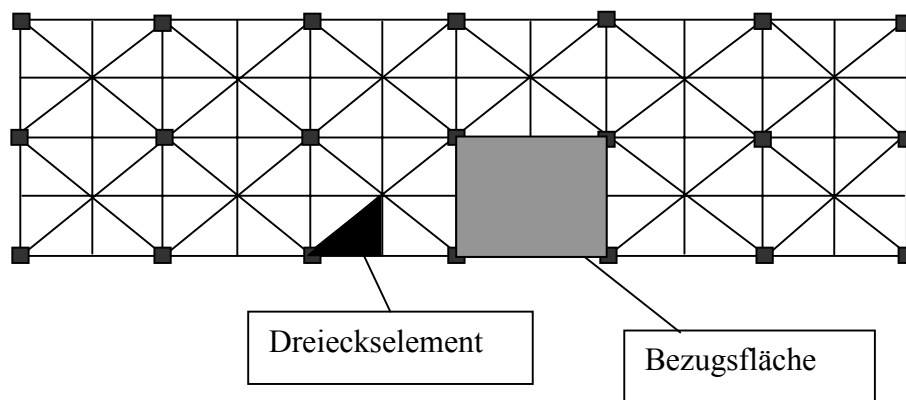


Abbildung 3.7: Aufteilung der Bezugsfläche in Dreieckselemente

$$S = Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i \quad (3.22)$$



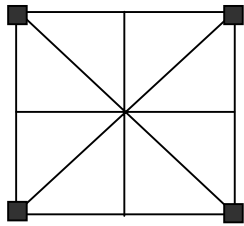


Abbildung 3.8: Acht Dreieckselemente bilden eine Bezugsfläche

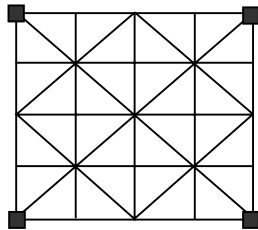


Abbildung 4.9: 32 Dreieckselemente bilden eine Bezugsfläche

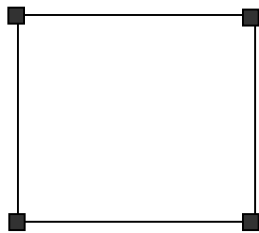


Abbildung 3.10: Ein Rechteckselement bildet eine Bezugsfläche

In der Gleichung (3.22) ist  $\sum_{i=1}^r a_i$  für eine genügend großen Wert  $r$  quasi konstant, d. h.  $S$  ändert sich nur vernachlässigbar mit der Anzahl der finiten Elemente. Bei der Verwendung von Dreieckselementen muß die Aufteilung der Bezugsfläche symmetrisch erfolgen (Abb. 3.7, 3.8, 3.9). Die folgende Aufteilung (Abb. 3.11) führt zu ungenauen Ergebnissen.

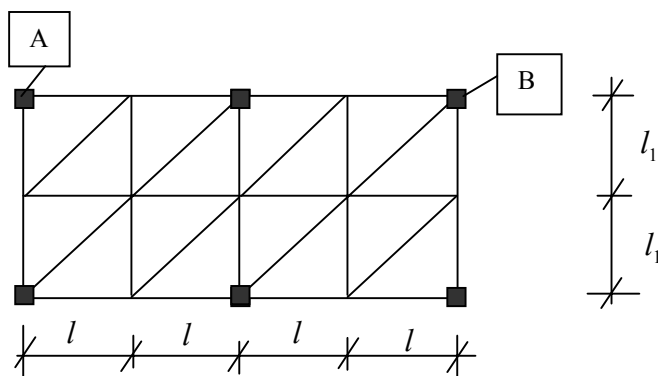


Abbildung 3.11: Unsymmetrische Aufteilung der Bezugsflächen mit Dreieckselementen

Durch die große Zahl der Einflüsse, so der Aufbau der Tragsysteme, die geometrische Lage der behandelten Stütze u.a., einerseits und durch die stochastischen Untersuchungen andererseits wird ein großer Rechenaufwand erforderlich. Durch Voruntersuchungen werden Auswirkungen einiger Einflüsse durch geeignetes Vorgehen vereinfacht ermittelt.

## 4.1 Einfluß der Systeme und der Stützenposition

### 4.1.1 Deckensysteme

**Statische Systeme: punktgestützte Deckenplatten mit regelmäßigen und unregelmäßigen Stützenabständen nach Abb. 4.1 und 4.2**

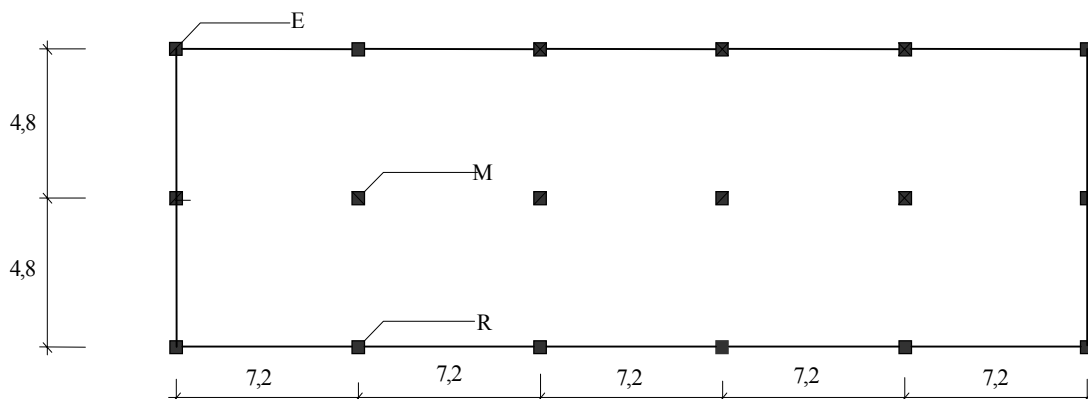


Abbildung 4.1: Punktgestützte Deckenplatte mit regelmäßigen Stützenabständen

- E - Eckstütze
- R - Randstütze
- M - Mittelstütze

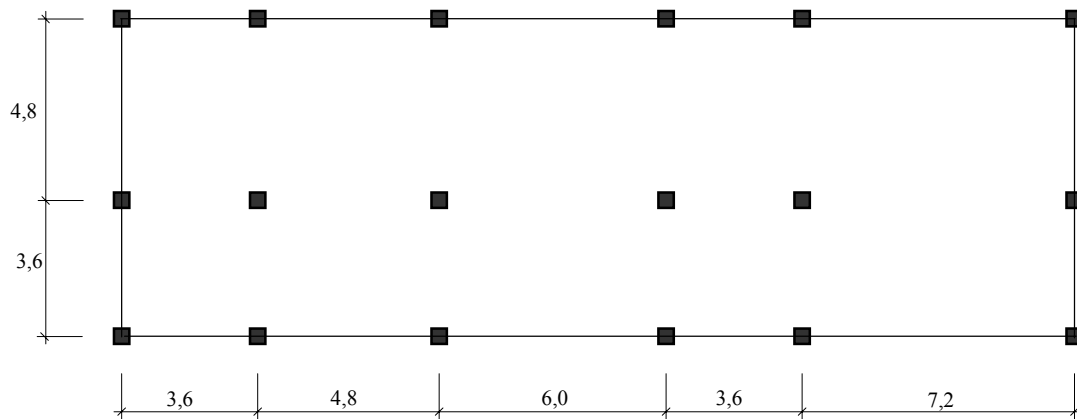


Abbildung 4.2: Punktgestützte Deckenplatte mit unregelmäßigen Stützenabständen

Weitere Systeme sind in der Anlage 2 dargestellt.

#### Materialkennwerte:

Elastizitätsmodul  $= 3 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$

Querdehnzahl  $= 0.2$

Schubmodul  $= 1.25 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$

#### Querschnittswerte:

Stützen:

$$A = 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,140 \cdot 1,0^3 \cdot 1,0 = 0,140 \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{1,0 \cdot 1,0^3}{12} = 8,33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1,0 \cdot 1,0^3}{12} = 8,33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

Plattendicke  $= 30\text{cm}$

Die Lastgrößen werden Tabelle 2.16 entnommen. In diesem Fall werden Dauerlasten als zeitinvariant betrachtet. Die Berechnungen erfolgen ohne Berücksichtigung der Korrelation der Nutzlasten.

### 4.1.2 Einfluß der geometrischen Lage der Stützen im Grundriß

Der Einfluß der geometrischen Lage der Stützen wird am folgenden Beispiel untersucht. Zunächst wird ein Geschöß betrachtet. Die Belastung soll nur aus Dauerlasten bestehen.  $Y_i$  sei eine Variable, die die Nutzlasten auf der Bezugsfläche  $i$  beschreibt. Die Dauerlast auf jeder Bezugsfläche soll einen Mittelwert von  $\mu = 0,6 \text{ kN/m}^2$  und eine Standardabweichung von  $\sigma = 0,3 \text{ kN/m}^2$  haben.

Die Stützenlast  $S_1$  für ein Geschöß wird wie folgt ermittelt:

$$S_1 = a_1 \cdot Y_1 + a_2 \cdot Y_2 + \dots + a_i \cdot Y_i + \dots + a_m \cdot Y_m ; i = 1, 2, \dots m \quad (4.1)$$

$a_1, a_2, \dots, a_m$  sind Übertragungsfaktoren der betrachteten Stütze

$m$  Anzahl der Bezugsflächen auf einer Deckenfläche

Nach der Gleichung (2.26) beträgt der Mittelwert  $\mu_{S_1}$  von  $S$  bei einem Geschöß

$$\mu_{S_1} = a_1 \cdot \mu_{Y_1} + a_2 \cdot \mu_{Y_2} + \dots + a_m \cdot \mu_{Y_m} = \sum_{i=1}^m a_i \cdot \mu_{Y_i} \quad (4.2)$$

Mit  $\mu_{Y_1} = \mu_{Y_2} = \mu_{Y_i} = \mu_Y$  beträgt der Mittelwert  $\mu_{S_1}$  einer Stützenlast

$$\mu_{S_1} = \sum_{i=1}^m a_i \cdot \mu_Y = \mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i \quad (4.3)$$

Nach Gleichung (2.28) beträgt die Standardabweichung  $\sigma_{S_1}$  der Stützenlast bei einem Geschöß

$$\sigma_{S_1} = \sqrt{(a_1^2 \cdot \sigma_{Y_1}^2 + a_2^2 \cdot \sigma_{Y_2}^2 + \dots + a_i^2 \cdot \sigma_{Y_i}^2 + \dots + a_m^2 \cdot \sigma_{Y_m}^2)}$$

$$\sigma_{S_1} = \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \cdot \sigma_{Y_i}^2}$$

Mit  $\sigma_{Y_1} = \sigma_{Y_2} = \sigma_{Y_i} = \sigma_Y$  beträgt die Standardabweichung  $\sigma_{S_1}$

$$\sigma_{S_1} = \sigma_Y \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2}, \quad (4.4)$$

k wird als Hilfswert eingeführt.

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2}}{\sum_{i=1}^m a_i}. \quad (4.5)$$

Sind die Dauerlasten lognormalverteilt, tendiert die Verteilung der einzelnen Stützenlasten bei einem Geschoß ebenfalls zu einer Lognormalverteilung. Erst ab 3 Geschossen kann mit einer Gaußschen Normalverteilung gerechnet werden, da die Anzahl der unabhängigen Variablen (hier der Nutzlasten) groß ist.

Der charakteristische Wert der Stützenlast bei einem Geschoß errechnet sich bei Lognormalverteilung der Nutzlasten zu:

$$F_{k_1} = \exp(\mu_u + \sigma_u \cdot \Phi^{-1}(1 - P_u)) \quad (4.6)$$

Dabei ist

$$\sigma_u = \sqrt{\ln \left[ 1 + \left( \frac{\sigma_{S_1}}{\mu_{S_1}} \right)^2 \right]} = \sqrt{\ln \left[ 1 + \frac{\left( \sigma_Y \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2} \right)^2}{\mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i} \right]} = \sqrt{\ln [1 + (V \cdot k)^2]} \quad (4.7)$$

und

$$\mu_u = \ln(\mu_{S_1}) - \frac{\sigma_{S_1}^2}{2} = \ln \left[ \frac{\mu_{S_1}}{\sqrt{1 + \left( \frac{\sigma_{S_1}}{\mu_{S_1}} \right)^2}} \right] = \ln \left[ \frac{\mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i}{\sqrt{1 + (V \cdot k)^2}} \right] \quad (4.8)$$

Für  $n$  Geschosse mit identischen Decken und gleicher Aufteilung der Lastbereiche folgt:

$$\mu_{S_n} = n \cdot \mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.9)$$

$$(\sigma_{S_n})^2 = n \cdot \sigma_Y^2 \cdot \sum_{i=1}^m a_i^2 \quad (4.10)$$

Der charakteristische Wert der Stützenlast bei  $n$  Geschossen errechnet sich zu:

$$F_{k_n} = \exp(\mu_{u_n} + \sigma_{u_n} \cdot \Phi^{-1}(1 - P_{\bar{u}})), \quad (4.11)$$

Dabei ist

$$\sigma_{u_n} = \sqrt{\ln \left[ 1 + \left( \frac{\sigma_{S_n}}{\mu_{S_n}} \right)^2 \right]} = \sqrt{\ln \left[ 1 + \frac{\left[ \frac{\sqrt{n} \cdot \sigma_Y \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2}}{n \cdot \mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i} \right]^2}{1} \right]} = \sqrt{\ln \left[ 1 + \left[ \frac{\sqrt{n} \cdot V \cdot k}{n} \right]^2 \right]} \quad (4.12)$$

$$\mu_{u_n} = \ln(\mu_{S_n}) - \frac{\sigma_{u_n}^2}{2} = \ln \left[ \frac{\mu_{S_n}}{\sqrt{1 + \left( \frac{\sigma_{S_n}}{\mu_{S_n}} \right)^2}} \right] = \ln \left[ \frac{n \cdot \mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i}{\sqrt{1 + \left( \frac{\sqrt{n} \cdot V \cdot k}{n} \right)^2}} \right] \quad (4.13)$$

Die Beziehung für die Abminderung bei Lognormalverteilung lautet:

$$\alpha = \frac{F_{k_n}}{n \cdot F_{k_1}} = \frac{\exp \left[ \ln \left[ \frac{n \cdot \mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i}{\sqrt{1 + \left( \frac{\sqrt{n} \cdot V \cdot k}{n} \right)^2}} \right] + \sqrt{\ln \left[ 1 + \left( \frac{\sqrt{n} \cdot V \cdot k}{n} \right)^2 \right]} \cdot \Phi^{-1}(1 - P_{\bar{u}}) \right]}{n \cdot \exp \left[ \frac{\mu_Y}{\sqrt{1 + (V \cdot k)^2}} + \sqrt{\ln[1 + (V \cdot k)^2]} \cdot \Phi^{-1}(1 - P_{\bar{u}}) \right]} \quad (4.14)$$

Mit der Normalverteilung werden die charakteristischen Werte wie folgt berechnet:

- **Ein Geschöß:**

$$F_{k_1} = \Phi^{-1}(1 - P_{\bar{u}}) \cdot \sigma_1 + \mu_1 \quad (4.15)$$

$$F_{k_1} = \Phi^{-1}(1 - P_{\bar{u}}) \cdot \sigma_Y \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2} + \mu_Y \cdot \sum_{i=1}^m a_i \quad (4.16)$$

- **$n$  Geschosse:**

$$F_{k_n} = \Phi^{-1}(1 - P_{\ddot{u}}) \cdot \sigma_Y \cdot \sqrt{n} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2} + \mu_Y \cdot n \cdot \sum_{i=1}^m a_i \quad (4.17)$$

Mit den Gleichungen (4.16) und (4.17) können die Abminderungsfaktoren mit folgender geschlossenen Lösung berechnet werden

$$\alpha = \frac{F_{k_n}}{n \cdot F_{k_1}} = \frac{\Phi^{-1}(1 - P_{\ddot{u}}) \cdot \sqrt{n} \cdot k \cdot \sigma_Y + n \cdot \mu_Y}{n \cdot \Phi^{-1}(1 - P_{\ddot{u}}) \cdot k \cdot \sigma_Y + n \cdot \mu_Y} \quad (4.17)$$

Werte von k nach Gl. (4.5) wurden für zahlreiche frei drehbar punktgestützte Deckenplatten nach Abb. 4.2 und Anlage 2 berechnet. Die Ergebnisse lagen für Stützen in typischer Position nach Abb. 4.1 in einem jeweils engen Bereich.

Tabelle 4.1: Ergebnisse für k

Stützenart	k
Mittelstütze	≈ 0,5-0,51
Randstütze	≈ 0,71-0,74
Eckstütze	≈ 1,00-1,05

Für regelmäßige Systeme mit 4 Plattenbereichen können die k-Werte wie folgt ermittelt werden:

**Mittelstütze:** Anzahl der Bezugsflächen = 4

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^4 a_i^2}}{\sum_{i=1}^4 a_i} = \frac{\sqrt{4 \cdot a_i^2}}{4 \cdot a_i} = 0,5$$

**Randstütze:** Anzahl der Bezugsflächen = 2

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^2 a_i^2}}{\sum_{i=1}^2 a_i} = \frac{\sqrt{2 \cdot a_i^2}}{2 \cdot a_i} = 0,71$$

**Eckstütze:** Anzahl der Bezugsflächen = 1

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^1 a_i^2}}{\sum_{i=1}^1 a_i} = \frac{\sqrt{a_i^2}}{a_i} = 1,0$$

Die Ergebnisse nach Tabelle 4.1 weichen geringfügig von diesen "idealen" Werten ab.

Für Systeme nach Abb. 4.1 und 4.2 und Dauerlasten mit Lognormalverteilung (Mittelwert = 0,6 kN/m<sup>2</sup>; Standardabweichung = 0,3 kN/m<sup>2</sup>) wird eine Berechnung der Abminderungsfaktoren durchgeführt, die Ergebnisse nach Tabelle 4.2 liefert.

### Ergebnisse der Berechnung für Systeme nach Abb. 4.1 und 4.2:

Tabelle 4.2: Abminderungsfaktoren für Dauerlasten,  $P_u = 0,02$

	Anzahl der Geschosse									
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.5	1.000	0.901	0.857	0.830	0.812	0.799	0.789	0.781	0.774	0.768
0.6	1.000	0.888	0.839	0.809	0.789	0.774	0.763	0.754	0.746	0.739
0.7	1.000	0.878	0.823	0.791	0.769	0.753	0.740	0.730	0.721	0.714
0.8	1.000	0.868	0.809	0.774	0.751	0.733	0.719	0.708	0.699	0.692
0.9	1.000	0.859	0.797	0.760	0.734	0.716	0.701	0.689	0.680	0.672
1.0	1.000	0.852	0.786	0.747	0.720	0.700	0.685	0.672	0.662	0.654

Die Ergebnisse in der Tabelle 4.2 zeigen, daß die Stellung der Stützen eine wesentliche Rolle spielt. Die Berechnung mit Hilfe des k-Wertes zeigt, daß das Verhältnis  $\alpha$  für die Mittelstützen den ungünstigsten Fall ergibt. Damit werden die weiteren Untersuchungen nur für die Mittelstützen durchgeführt. Es ist auch zu beachten, daß  $F_{k_i}$  nach Gl. (4.6) für die Mittelstütze, die Randstütze und die Eckstütze verschieden ist.



## 4.2 Einfluß des Variationskoeffizienten auf die Abminderungsfaktoren

Der Einfluß des Variationskoeffizienten auf die Abminderungsfaktoren ist in Abb. 4.3 dargestellt.

Für Systeme nach Abb. 4.1 und 4.2 und Dauerlasten mit Lognormalverteilung (Mittelwert =  $0,6 \text{ kN/m}^2$ ; Standardabweichung =  $0,3 \text{ kN/m}^2$ ) wurde eine Berechnung durchgeführt, die die Ergebnisse nach Abb. 4.3 liefert.

Ergebnisse für die Mittelstützen mit  $P_u = 0,02$  :

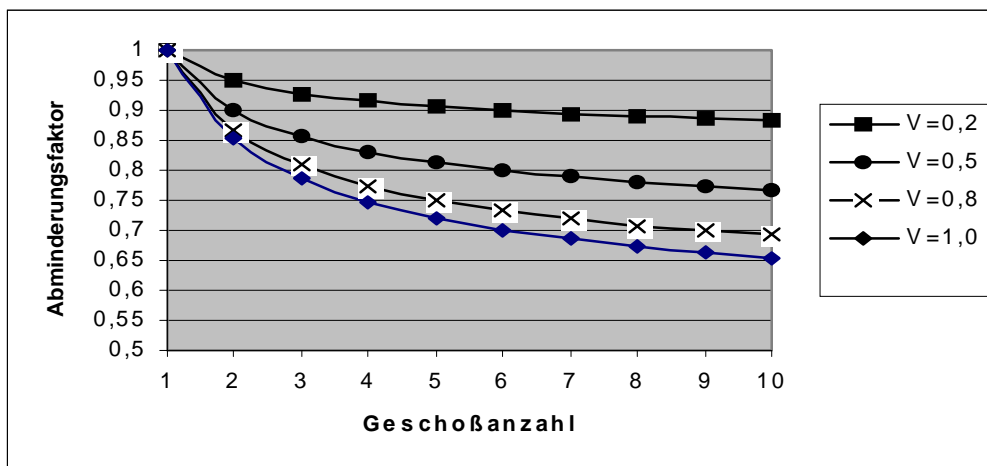


Abbildung 4.3: Einfluß des Variationskoeffizienten auf die Abminderungsfaktoren bei Mittelstützen

## 4.3 Einfluß der Anzahl der unabhängigen Nutzlasten je Bezugsfläche

Die Untersuchungen im Abschnitt 5 setzen voraus, daß die Nutzlasten jeder Bezugsfläche über die Fläche konstant, in der Größe aber stochastisch verteilt sind. Hier werden die Bezugsflächen weiter unterteilt, wobei zur Vereinfachung die Teilflächen durch die verwendeten Dreieckselemente (SHELL3N) gebildet werden.

In der Abb. 4.4 wirken acht Nutzlasten, in der Abb. 4.5 sind es 32 Nutzlasten auf einer Bezugsfläche.

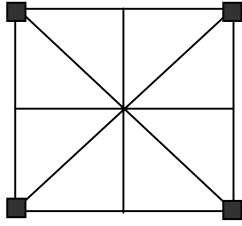


Abbildung 4.4: Acht Nutzlasten auf einer Bezugsfläche

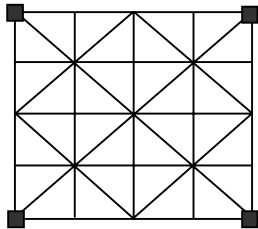


Abbildung 4.5: 32 Nutzlasten auf einer Bezugsfläche

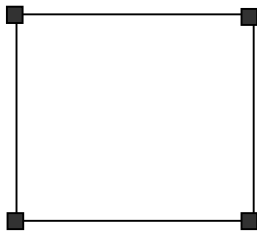


Abbildung 4.6: Eine Nutzlast auf einer Bezugsfläche

Für Systeme nach Abb. 4.1 und 4.2 und Dauerlasten mit Lognormalverteilung (Mittelwert =  $0,6 \text{ kN/m}^2$ ; Standardabweichung =  $0,3 \text{ kN/m}^2$ ) wird eine Berechnung durchgeführt, die die Ergebnisse nach Abb.4.7 liefert.

Die Abb. 4.7 zeigt, daß die Anzahl der Nutzlasten einer Bezugsfläche die Abminde-  
rungsfaktoren stark beeinflußt. Je größer die Anzahl unabhängiger Nutzlasten auf einer  
Bezugsfläche ist, desto größer wird  $\alpha$ . Mit wachsender Anzahl der Nutzlasten je Bezugsfläche  
werden die Abstände zwischen diesen Nutzlasten kleiner, so daß die Korrelation zwischen  
zwei Nutzlasten nicht vernachlässigt werden kann.

Ergebnisse für die Mittelstützen;  $P_{ii} = 0,02$

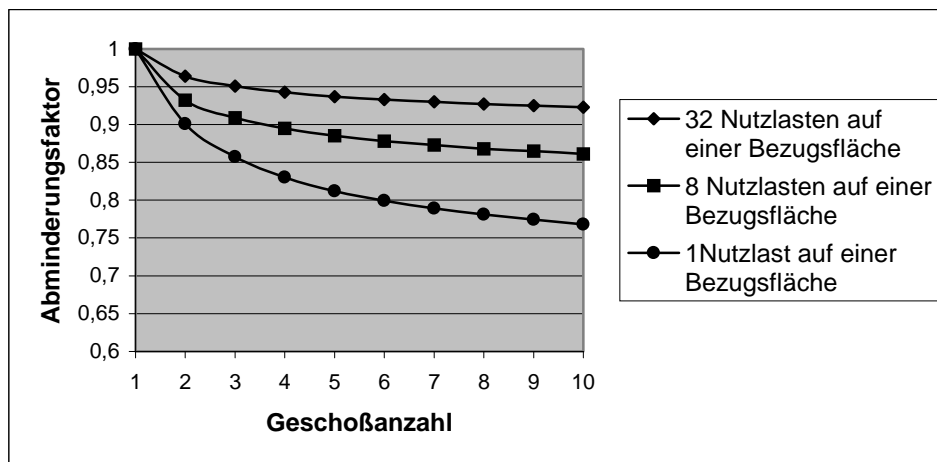


Abbildung 4.7: Einfluß der Anzahl der unabhängigen Nutzlasten je Bezugsfläche für Mittelstützen

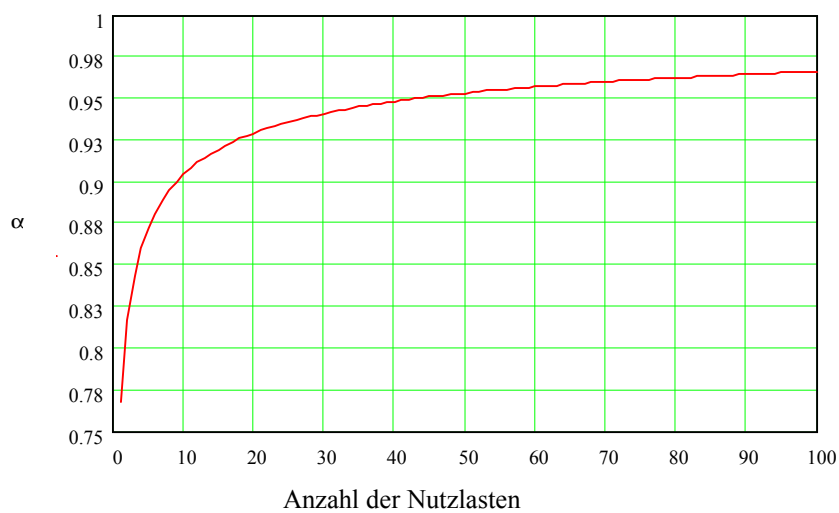


Abbildung 4.8: Einfluß der Anzahl der Nutzlasten auf eine Bezugsfläche; Berechnung für 10 Geschosse mit  $k = 0,5$

Für ein Geschoß nach Abb. 4.1 erhält die Eckstütze Nutzlast von einer Bezugsfläche und die Mittelstütze von 4 Bezugsflächen. Mit der Berücksichtigung der Anzahl der Nutzlasten auf einer Bezugsfläche kann die Gleichung 4.17 wie folgt umgeschrieben werden:

$$\alpha = \frac{F_{k_n}}{n \cdot F_{k_1}} = \frac{\Phi^{-1}(1 - P_{\ddot{u}}) \cdot \sqrt{n} \cdot k \cdot \sqrt{r} \cdot \sigma_Y + n \cdot r \cdot \mu_Y}{n \cdot \Phi^{-1}(1 - P_{\ddot{u}}) \cdot \sqrt{r} \cdot k \cdot \sigma_Y + r \cdot n \cdot \mu_Y}, \quad (4.18)$$

r - Anzahl von Nutzlasten auf einer Bezugsfläche

n - Anzahl der Geschosse

Mit  $k = 0,2$ ,  $r = 1$  und  $P_{\ddot{u}} = 0,02$  ergibt sich  $\alpha$  bei 10 Geschossen zu 0,883.

Für die Mittelstütze mit  $r = 4$  ergibt sich  $\alpha$  bei 10 Geschossen zu 0,936.

Damit wird für die Untersuchung die "Mittelstütze" gewählt, die den ungünstigsten (größten) Abminderungsfaktor erhält.

#### 4.4 Einfluß der Überschreitungswahrscheinlichkeit $P_{\ddot{u}}$ auf die Abminderungsfaktoren

Für Systeme nach Abb. 4.1 und 4.2 und Dauerlasten mit Lognormalverteilung (Mittelwert =  $0,6 \text{ kN/m}^2$ ; Standardabweichung =  $0,3 \text{ kN/m}^2$ ) wird die Berechnung mit Variation von  $P_{\ddot{u}}$  durchgeführt, die die Ergebnisse nach Tabelle 4.3 und Abb. 4.9 liefert.

Tabelle 4.3: Einfluß der Überschreitungswahrscheinlichkeit auf die Abminderungsfaktoren

	Geschoßzahl									
$P_{\ddot{u}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.095	1.000	0.928	0.896	0.877	0.864	0.854	0.846	0.840	0.835	0.831
0.050	1.000	0.915	0.877	0.854	0.839	0.828	0.819	0.812	0.806	0.801
0.020	1.000	0.901	0.857	0.830	0.812	0.799	0.789	0.781	0.774	0.768
0.0001	1.000	0.859	0.796	0.759	0.734	0.715	0.700	0.688	0.679	0.671

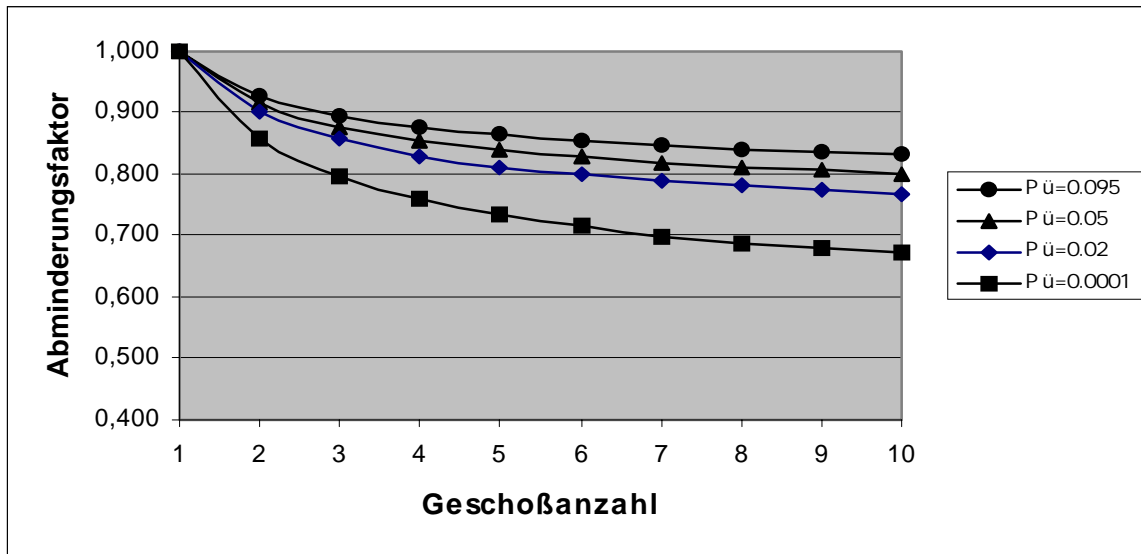


Abbildung 4.9: Einfluß der Überschreitungswahrscheinlichkeit auf die Abminderungsfaktoren

#### 4.5 Vorabschätzen des Einflusses der Zeitabhängigkeit der Nutzlasten auf die Abminderungsfaktoren

Um den Einfluß der Zeit auf die Abminderungsfaktoren vorabzuschätzen, wird die Einwirkungsdauer der beiden Lastarten sehr lang angenommen. Die Überlagerung der Nutzlasten erfolgt nach Abb. 3.4 mit der Monte-Carlo-Methode. Der Zeitschritt wird auf eine Woche festgelegt. Jährliche Extremwerte der Stützenlasten werden ausgesucht. Insgesamt werden 10000 Extremwerte der Stützenlasten berechnet. Quantilwerte für  $P_{\ddot{u}} = 0,02$  und die Abminderungsfaktoren nach Gl. 3.14 werden ebenfalls ermittelt.

##### Eingabewerte für Bürolasten:

##### Dauerlasten:

Lognormalverteilung (Mittelwert = 0,6 kN/m<sup>2</sup>; Standardabweichung = 0,3 kN/m<sup>2</sup>)

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 40 Jahre; Standardabweichung = 40 Jahre)

Die Zeit, in der die Dauerlasten nicht wirken:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

### Kurzzeitlasten:

#### a) Menschenansammlungen

Lognormalverteilung (Mittelwert = 0,5 kN/m<sup>2</sup>; Standardabweichung = 0,45 kN/m<sup>2</sup>)

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 40 Jahre; Standardabweichung = 40 Jahre)

Mittlere Wiederholungsperiode der Kurzzeitlasten :

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

### Ergebnisse:

Tabelle 4.3: Abminderungsfaktoren für Nutzlasten (Dauerlasten + Menschenansammlungen), die als zeitinvariant betrachtet werden, Überschreitungswahrscheinlichkeit = 0,02

Überlagerungsart	Anzahl der Geschosse									
Dauerlasten + Menschenansammlungen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1,000	0,957	0,943	0,936	0,932	0,929	0,927	0,926	0,925	0,924

Die Überlagerung mit Kurzzeitlasten aus Renovierungen führt zu unwesentlichen Unterschieden in den Abminderungsfaktoren.

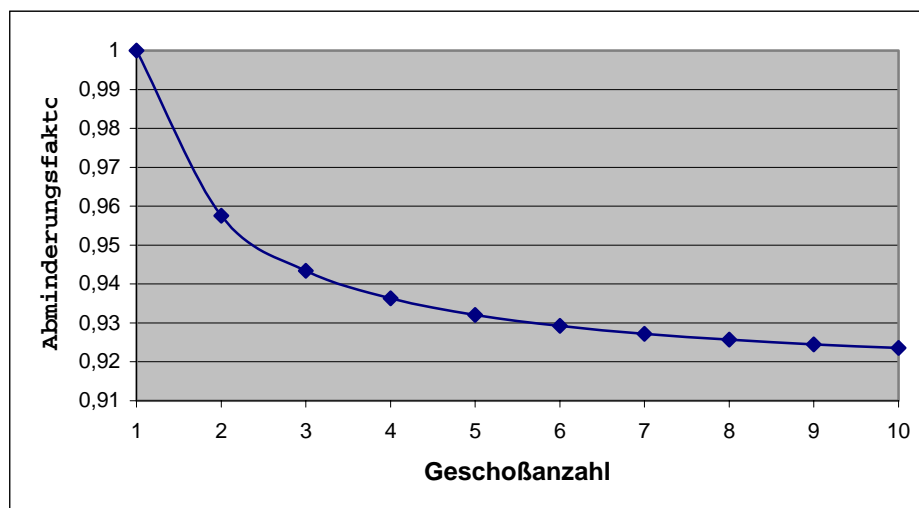


Abbildung 4.10: Abminderungsfaktoren für zeitinvariante Nutzlasten

Für Nutzlasten, die als zeitinvariant betrachtet werden, kann auf Grund der stochastischen Eigenschaften der Nutzlasten eine Abminderung, nach folgender Beziehung vorgenommen werden:

$$\alpha = 0,97 \cdot n^{-0,0214}; \quad n \geq 2 \quad (4.19)$$

Bei Nutzlasten, deren Variationskoeffizient ca. 5 % beträgt, läßt sich der Abminderungsfaktor zu 0,97 ( $n \geq 2$ ) berechnen.

## 4.6 Schlußfolgerungen

Die Berechnungen für Nutzlasten, die als zeitinvariant angenommen sind, haben folgendes gezeigt:

- Die Abminderungsfaktoren hängen sehr stark davon ab, wie viele Nutzlasten sich auf einer Bezugsfläche befinden (Abb. 4.7). Je größer die Anzahl unabhängiger Nutzlasten auf einer Bezugsfläche ist, desto größer wird der Abminderungsfaktor  $\alpha$ .
- Sind die Variationskoeffizienten der Nutzlasten sehr groß, dann wird  $\alpha$  kleiner.
- Abb. 4.6 zeigt den Grenzfall, daß alle Nutzlasten eines Einzelbürraumes völlig korreliert sind.
- Für die Mittelstützen ist  $\alpha$  am ungünstigsten. Sie sind damit für die weiteren Berechnungen maßgebend. Mit denselben Abminderungsfaktoren können Eckstützen und Randstützen abgemindert werden. Die Bemessung der Eckstützen und Randstützen liefert damit Ergebnisse, die auf jeden Fall auf der sicheren Seite liegen.
- Die Überschreitungswahrscheinlichkeit spielt eine große Rolle. Mit zunehmender Überschreitungswahrscheinlichkeit wird  $\alpha$  kleiner (Abb. 4.9).

## 5 Ermittlung von Abminderungsfaktoren

In diesem Abschnitt werden Abminderungsfaktoren aus dem Modell für unterschiedlichen Varianten berechnet. Für die Verteilung der Nutzlasten gilt die Lognormalverteilung und für die Zeitdauer gilt die Exponentialverteilung.

## 5.1 Einfluß der Erneuerung der Kurzzeitlasten auf die Abminderungsfaktoren

Die Überlagerung der Nutzlasten erfolgt wie in Abb. 3.4 veranschaulicht.

### Eingabewerte für Bürolasten:

1. **Variante:** Die Kurzzeitlasten wirken seltener

Tabelle 5.1: Parameter der Nutzlasten

	Dauerlasten	Kurzzeitlasten (Renovierung)
Lastgrößen ( $\mu$ ; $\sigma$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]	0,6; 0,3	0,5; 0,5
Zeit $D_{an}$	8 Jahre	2 Wochen
Zeit $D_{aus}$	2 Wochen	Erneuerung = 8 Jahre

2. **Variante:** Die Kurzzeitlasten wirken häufiger

Tabelle 5.2: Parameter der Nutzlasten

	Dauerlasten	Kurzzeitlasten (Renovierung)
Lastgrößen ( $\mu$ ; $\sigma$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]	0,6; 0,3	0,5; 0,5
Zeit $D_{an}$	8 Jahre	2 Wochen
Zeit $D_{aus}$	2 Wochen	Erneuerung = 5 Jahre



Ergebnisse zur Variantenuntersuchung:

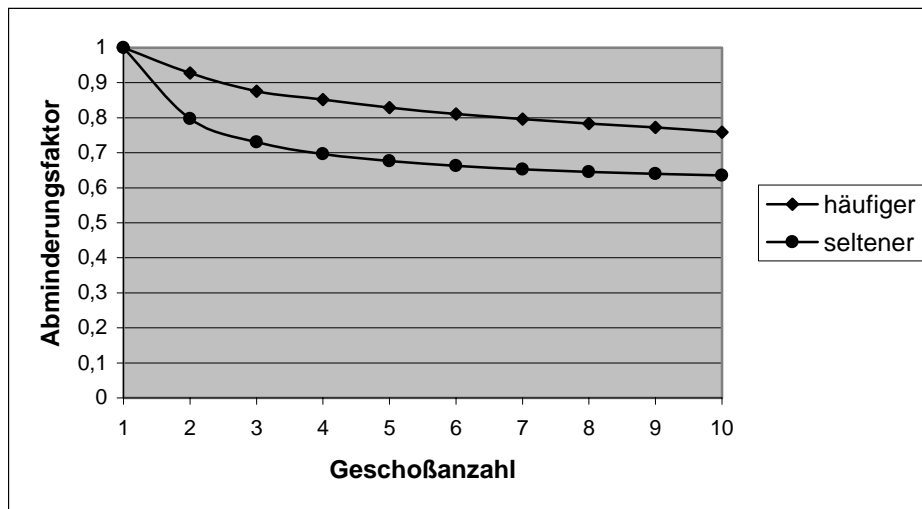


Abbildung 5.1: Einfluß der Erneuerung der Kurzzeitlasten auf die Abminderungsfaktoren

Je häufiger die Kurzzeitlasten auftreten, um so größer wird ihre gesamte Einwirkungsdauer (GL) während der Lebensdauer (L) der Konstruktion. Gilt für eine bestimmte Nutzlast  $\frac{GL}{L} > 0,05$ , schlägt Karman vor, diese Nutzlast zu den Dauerlasten zu zählen. In diesem Fall dürfen die Nutzlasten weniger abgemindert werden.

## 5.2 Einfluß der mittleren Einwirkungsdauer der Dauerlasten auf die Abminderungsfaktoren

Eingabewerte für Bürolasten:

### 1. Variante: längere Einwirkungsdauer

Tabelle 5.3: Parameter der Nutzlasten

	Dauerlasten	Kurzzeitlasten (Renovierung)
Lastgrößen ( $\mu$ ; $\sigma$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]	0,6; 0,3	0,5; 0,5
Zeit $D_{an}$	8 Jahre	2 Wochen
Zeit $D_{aus}$	2 Wochen	5 Jahre

## 2. Variante: kürzere Einwirkungsdauer

Tabelle 5.4: Parameter der Nutzlasten

	Dauerlasten	Kurzzeitlasten (Renovierung)
Lastgrößen ( $\mu$ ; $\sigma$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]	0,6; 0,3	0,5; 0,5
Zeit $D_{an}$	5 Jahre	2 Wochen
Zeit $D_{aus}$	2 Wochen	5 Jahre

Ergebnisse zur Variantenuntersuchung:

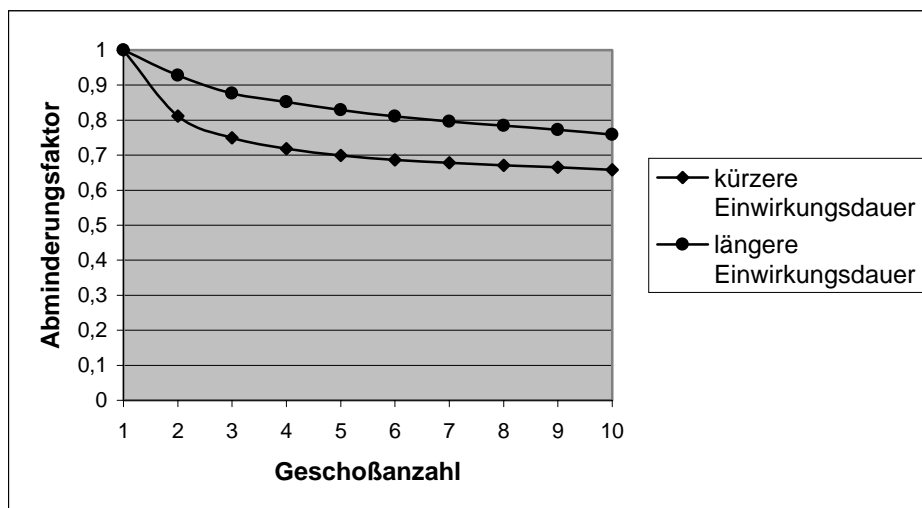


Abbildung 5.2: Einfluß der mittleren Einwirkungsdauer der Dauerlasten auf die Abminderungsfaktoren

Mit wachsender Einwirkungsdauer der Nutzlasten nähern wir uns der ständigen Wirkung und die Abminderung wird geringer.

### 5.3 Einfluß der Wiederholungsperiode der Stützenlasten auf die Abminderungsfaktoren (Niveauüberschreitung, Abb. 2.6 d)

Parameter der Nutzlasten nach Tabelle 5.1

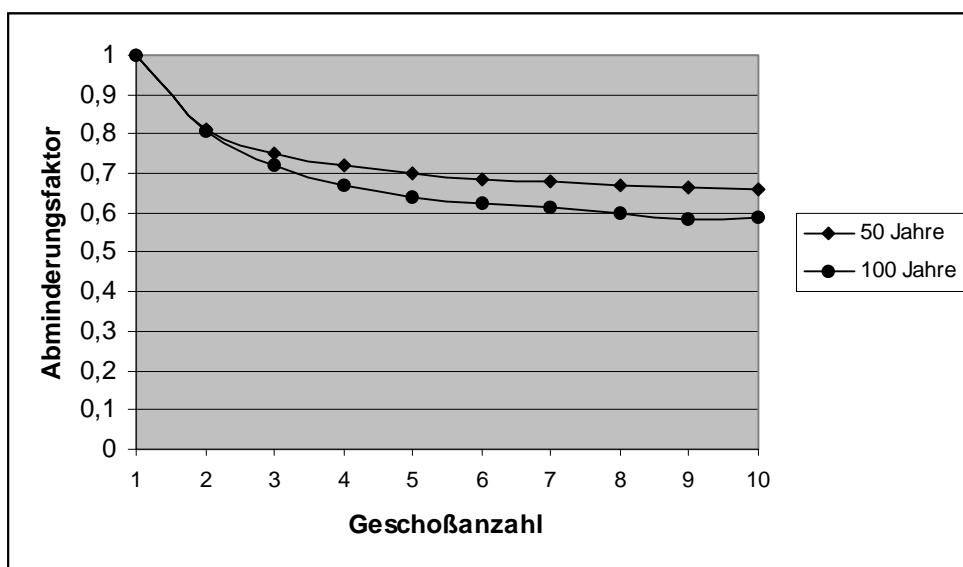


Abbildung 5.3: Einfluß der Wiederholungsperiode der Stützenlasten auf die Abminderungsfaktoren

Der Extremwert der Stützenlast, der einmal in einem Zeitraum von 100 Jahren auftreten kann, ist größer als der, der in einem Zeitraum von 50 Jahre auftreten kann. Dieser Extremwert, der in einem Zeitraum von 100 Jahre auftreten soll, wird in der Wirklichkeit sehr selten auftreten. Aus diesem Grunde darf er stärker reduziert werden als der für 50 Jahre.

#### Schlußfolgerungen:

Es werden die errechneten Abminderungsfaktoren für 10 Geschosse zusammengestellt:

Tabelle 5.5: Abminderungsfaktoren für verschiedene Einwirkungsauern und Erneuerungen

Erneuerung der Kurzzeitlasten	1 Woche	2 Jahre	5 Jahre	8 Jahre	40 Jahre
Einwirkungsduer der Dauerlasten					
1 Woche	0,500				
5 Jahre			0,658		
8 Jahre			0,759	0,635	
10 Jahre		0,785			
40 Jahre					0,923

Die Ergebnisse in der Tabelle 5.5 zeigen folgende Tendenzen:

- Die Abminderungsfaktoren wachsen mit der Einwirkungsduer der Dauerlasten
- Die Abminderungsfaktoren fallen mit häufigen Erneuerungen der Kurzzeitlasten
- Wenn die Einwirkungsduer sehr groß ist, hier z.B. 40 Jahre, können die betrachteten Nutzlasten als zeitinvariant angenommen werden.

Abb. 5.3 zeigt, daß die Abminderungsfaktoren mit wachsender Wiederholungsperiode der Stützenlasten ungünstiger werden.

## 5.4 Abminderungsfaktoren für Bürogebäude

Für Bürogebäude mit Parametern nach Tabelle 5.2 ergibt sich:

Tabelle 5.6: Abminderungsfaktoren für Bürogebäude

Geschoßanzahl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α Mittelstütze	1,000	0,928	0,876	0,852	0,829	0,810	0,796	0,784	0,773	0,759
α Eckstütze	1,000	0,854	0,725	0,652	0,605	0,574	0,557	0,552	0,547	0,544

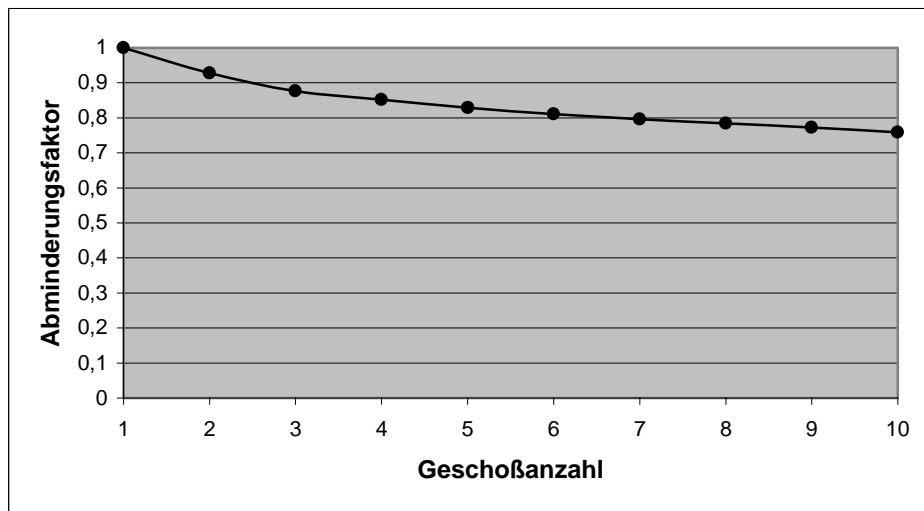


Abbildung 5.4: Abminderungsfaktoren für Bürogebäude

Zur Beschreibung der Abminderungsfaktoren von Stützenlasten bei Bürogebäuden kann die folgende Beziehung verwendet werden:

$$\alpha = 1,007 \cdot n^{-0,1213} ; \quad n \geq 2 \quad (5.1)$$

## 5.5 Abminderungsfaktoren für Wohngebäude

Für Wohngebäude gelten die Angaben nach Tabelle 5.7:

Tabelle 5.7: Parameter der Nutzlasten

	Dauerlasten	Kurzzeitlasten (Renovierung)
Lastgrößen ( $\mu$ ; $\sigma$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]	0,6; 0,2	0,3; 0,2
Zeit $D_{an}$	7 Jahre	2 Wochen
Zeit $D_{aus}$	2 Wochen	8 Jahre

Tabelle 5.8: Abminderungsfaktoren für Wohngebäude

Geschoßanzahl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha$	1,000	0,812	0,750	0,718	0,699	0,687	0,678	0,671	0,666	0,658

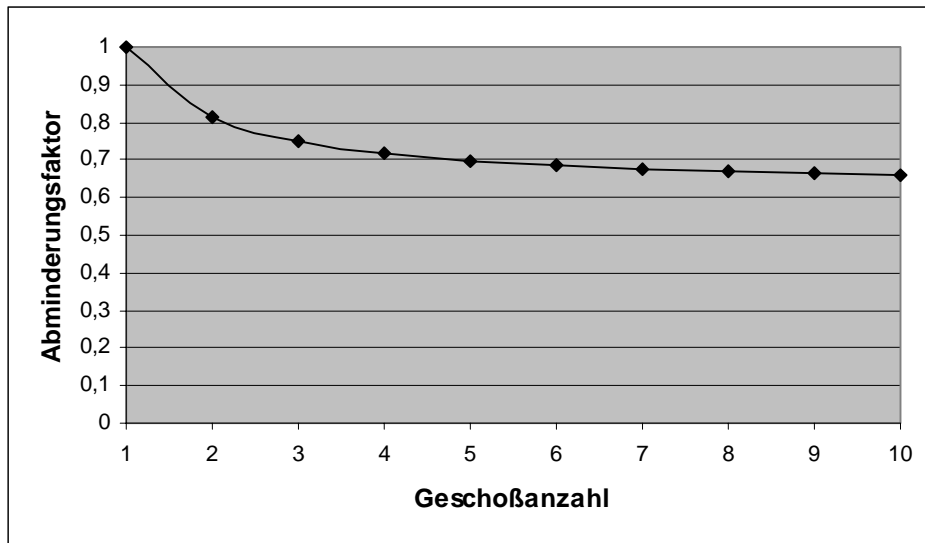


Abbildung 5.5: Abminderungsfaktoren für Wohngebäude

Zur Beschreibung der Abminderungsfaktoren von Stützenlasten bei Wohngebäuden kann die folgende Beziehung verwendet werden:

$$\alpha = 0,86 \cdot n^{-0,136}; \quad n \geq 2 \quad (5.2)$$

## 5.6 Abminderungsfaktoren für Hotelgebäude

Für Hotelgebäude gelten die Angaben nach Tabelle 5.9:

Tabelle 5.9: Parameter der Nutzlasten

	Dauerlasten	Kurzzeitlasten (Renovierung)
Lastgrößen ( $\mu$ ; $\sigma$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]	0,4; 0,1	0,15; 0,15
Zeit $D_{an}$	10 Jahre	2 Wochen
Zeit $D_{aus}$	2 Wochen	2 Jahre

Tabelle 5.10: Abminderungsfaktoren für Hotelgebäude

Geschoßanzahl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha$	1,000	0,906	0,848	0,830	0,812	0,804	0,797	0,792	0,788	0,785

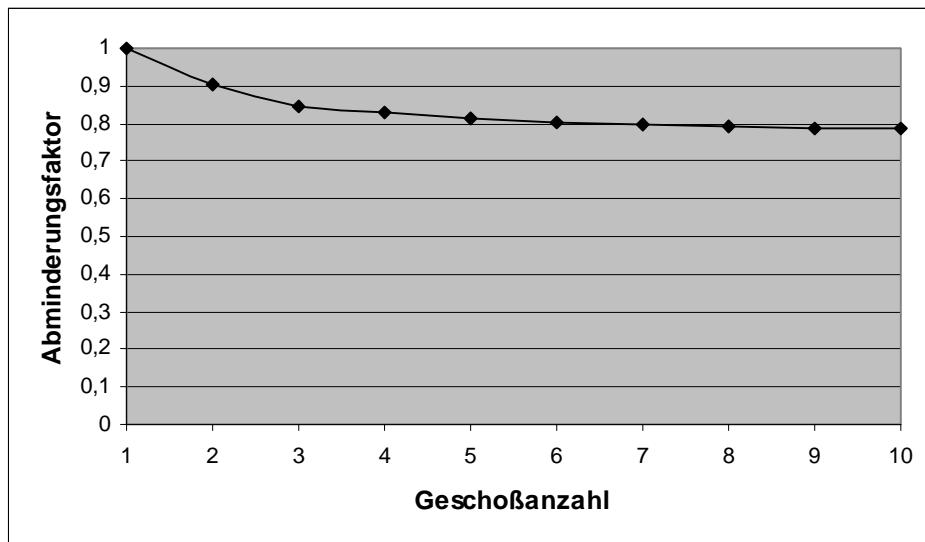


Abbildung 5.6: Abminderungsfaktoren für Hotelgebäude

Zur Beschreibung der Abminderungsfaktoren von Stützenlasten bei Hotelgebäuden kann die folgende Beziehung verwendet werden:

$$\alpha = 0,96 \cdot n^{-0,0839}; \quad n \geq 2 \quad (5.3)$$

## 5.7 Fehlerempfindlichkeit hinsichtlich von Lastparametern

Für Bürogebäude werden die Mittelwerte der Dauerlasten, ausgehend von  $\mu=0,6 \text{ kN/m}^2$  variiert. Damit werden mögliche Fehler des Mittelwertes der Dauerlasten simuliert.

### Dauerlasten:

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 8 Jahre; Standardabweichung = 8 Jahre)

### Kurzzeitlasten:

Einwirkungsdauer:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 2 Wochen; Standardabweichung = 2 Wochen)

Erneuerung der Kurzzeitlasten:

Exponentialverteilung (Mittelwert = 5 Jahre; Standardabweichung = 5 Jahre)

Tabelle 5.11 Variantenuntersuchung

Variante	Dauerlasten		Kurzzeitlasten	
	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standardabweichung [kN/m <sup>2</sup> ]	Mittelwert [kN/m <sup>2</sup> ]	Standardabweichung [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0,72	0,3	0,5	0,5
2	0,9	0,3	0,5	0,5

### Ergebnisse:

Die Abweichung in den Abminderungsfaktoren wird wie folgt berechnet:

$$\Delta\alpha = \alpha_F - \alpha$$

$\alpha_F$  ist der Abminderungsfaktor bei erhöhtem Mittelwert der Dauerlasten (Tabelle 5.11)

$\alpha$  ist der Abminderungsfaktor nach Tabelle 5.6

Es wird eine bezogene Abweichung [%] =  $\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$  ermittelt.



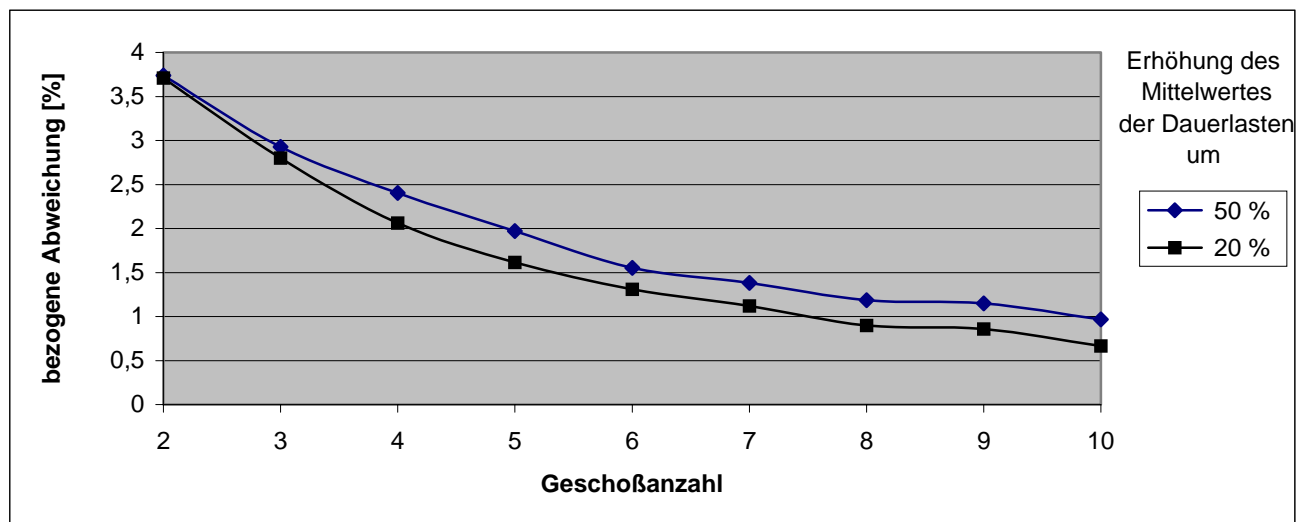


Abbildung 5.7: Bezogene Abweichung des Abminderungsfaktors  $\alpha$

Tabelle 5.11 Abweichung  $\Delta\alpha$

Geschoßanzahl	$\alpha$	Mittelwert um 20 % erhöht		Mittelwert um 50 % erhöht	
		$\alpha_F$	$\Delta\alpha$	$\alpha_F$	$\Delta\alpha$
1	1	1	0	1	0
2	0.928	0.895	0.034	0.963	0.035
3	0.876	0.842	0.025	0.902	0.026
4	0.852	0.819	0.015	0.874	0.022
5	0.829	0.800	0.013	0.848	0.019
6	0.810	0.789	0.011	0.823	0.013
7	0.796	0.781	0.010	0.807	0.011
8	0.784	0.775	0.007	0.793	0.009
9	0.773	0.771	0.006	0.781	0.008
10	0.759	0.767	0.005	0.766	0.007

Tabelle 5.12: Abweichung  $\Delta\alpha$

Geschoßanzahl		Standardabweichung um 50 % erhöht	
		$\alpha_F$	$\Delta\alpha$
1	1	1	0
2	0.928	0.920	-0.008
3	0.876	0.863	-0.013
4	0.852	0.835	-0.017
5	0.829	0.807	-0.020
6	0.810	0.784	-0.023
7	0.796	0.771	-0.025
8	0.784	0.755	-0.026
9	0.773	0.748	-0.026
10	0.759	0.732	-0.027

Für Bürogebäude wird die Standardabweichung der Dauerlasten, ausgehend von  $\sigma=0,3\text{ kN/m}^2$  um 50 % erhöht. Damit werden mögliche Fehler der Standardabweichung der Dauerlasten simuliert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5.12 und Abb. 5.8 dargestellt.

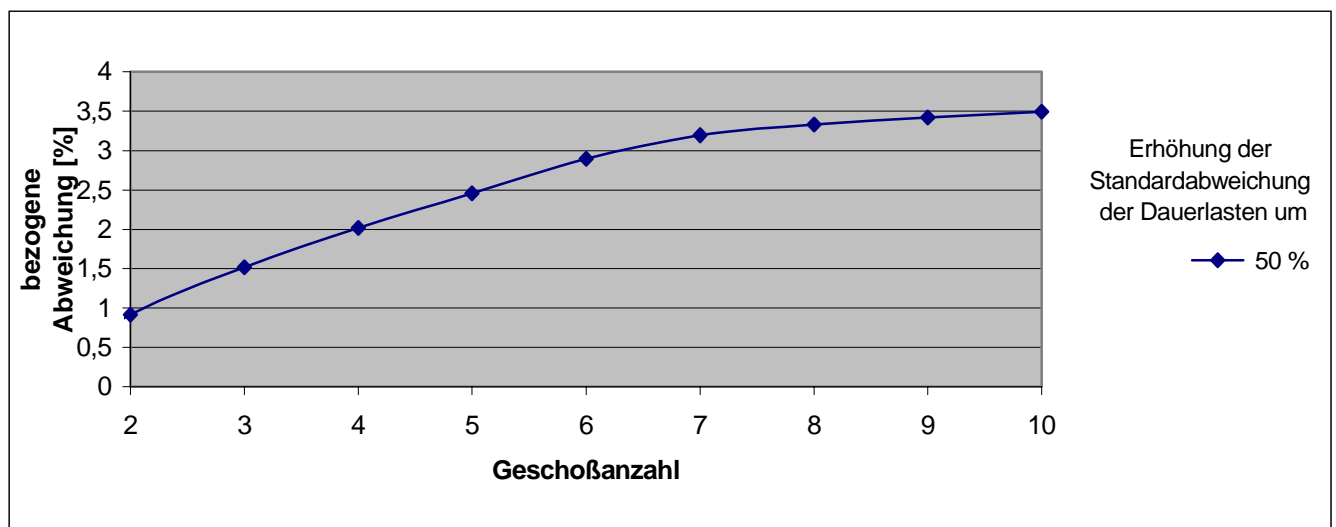


Abbildung 5.8: Bezogene Abweichung des Abminderungsfaktors  $\alpha$

Die Untersuchung der Fehlerempfindlichkeit hinsichtlich von Lastparametern hat gezeigt, daß die Fehler, die bei den Lastparametern auftreten, sehr geringe Abweichungen in den Abminderungsfaktoren verursachen. Eine Vergrößerung des Mittelwertes der Dauerlasten um 50 % verursacht eine Abweichung von ca. 2,5 % in den Abminderungsfaktoren. Das entspricht einem Verhältnis von 1 : 20. Die in dieser Untersuchung berechneten Abminderungsfaktoren sind deshalb sehr zuverlässig.

Die Ursache für diese Zuverlässigkeit liegt darin, daß der Abminderungsfaktor  $\alpha$  nach Gl. (3.14) ein Quotient ist. Die Fehler im Zähler und Nenner gleichen sich aus.

Wird der Mittelwert der Dauerlasten vergrößert, dann errechnet sich daraus einen kleineren Variationskoeffizienten. Der Einfluß des Variationskoeffizienten wurde schon im Abschnitt 4.2 untersucht. Das Ergebnis in den Tabellen 5.11 und 5.12 sind größere Abminderungsfaktoren. Wird die Standardabweichung vergrößert, dann errechnet sich daraus ein größerer Variationskoeffizient und die damit berechneten Abminderungsfaktoren  $\alpha$  sind kleiner als bei der Grundvariante nach Abschnitt 5.4.

## **6 Schlußbemerkungen**

Die Parameter zu den Lastannahmen für Nutzlasten in Geschoßbauten wurden geprüft. Es wurde festgestellt, daß die charakteristische Werte der Nutzlasten, die mit der Monte-Carlo-Methode berechnet wurden sind, mit den nach dem EC 1 übereinstimmen (vergleiche Tabelle 2.25). Damit ist eine Übereinstimmung mit der Realität vorausgesetzt. Mit dieser Voraussetzung wurden die Parameter der Nutzlasten für die weitere Berechnung der Abminderungsfaktoren verwendet.

Die ermittelten Abminderungsfaktoren zeigen sehr gut, daß der zufällige Charakter der Nutzlasten auf den Geschoßdecken großen Einfluß auf die Belastungen der Stützen hat. Die auftretenden Stützenlasten nehmen im Verhältnis zur Stützenlast unter gleichmäßig verteilter Belastung mit wachsender Geschoßzahl zuerst deutlich ab und konvergieren dann gegen einen bestimmten Wert. In Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer und, Erneuerung der Nutzlasten, Wiederholungsperiode der Extremwerte der Stützenlasten, räumliche Verteilung

der Nutzlasten auf der Bezugsfläche, stochastische Eigenschaften der Nutzlasten und die geometrische Lage der Stützen im Grundriß wurden Abminderungsfaktoren für Stützenlasten ermittelt.

Die Voruntersuchung mit Nutzlasten, die als zeitinvariant angenommen werden, hat folgendes gezeigt:

- Die geometrische Lage der Stützen beeinflusst die Abminderung der Stützenlasten. Soll ein einheitlicher Abminderungsfaktor  $\alpha$  je Geschos verwendet werden, so ist der Abminderungsfaktor der für die Mittelstütze (1. Innenstütze) anzusetzen, da sich dort die geringste Abminderung ergibt.
- Je größer der Variationskoeffizient der Nutzlasten ist, desto kleiner wird  $\alpha$ .
- Wirken mehrere unabhängige Nutzlasten auf einer Bezugsfläche ein, dann wird  $\alpha$  kleiner.
- Mit zunehmender Überschreitungswahrscheinlichkeit wird  $\alpha$  kleiner.

Die Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit erbrachte folgende Ergebnisse:

Die Ergebnisse (Tabelle 5.4) zeigen folgende Eigenschaften der Abminderungsfaktoren bezüglich der Zeitabhängigkeit:

- $\alpha$  wird größer bei längerer Einwirkungsdauer der Nutzlasten
- $\alpha$  wird kleiner bei seltener Erneuerung der Kurzzeitlasten
- Wenn die Einwirkungsdauer sehr groß angenommen wird, können die betrachteten Nutzlasten als zeitinvariant betrachtet werden.

Die Fehlerbetrachtung hat gezeigt, daß die Fehler, die bei der Festlegung von Lastparametern auftreten, sehr geringe Abweichungen in den Abminderungsfaktoren verursachen. Die berechneten  $\alpha$ -Werte sind demzufolge sehr zuverlässig. Die Ursache für die Zuverlässigkeit liegt darin, daß der  $\alpha$ -Wert ein Quotient ist und die Fehler im Zähler und Nenner sich ausgleichen.

Tabelle 6.1: Vergleich der Abminderungsfaktoren

Geschoßanzahl	Hotelgebäude	Bürogebäude	Wohngebäude	DIN 1055	EC 1
1	1.000	1.000	1.000	1.00	1.000
2	0.906	0.928	0.812	1.00	1.000
3	0.848	0.876	0.750	1.00	0.900
4	0.830	0.852	0.718	0.95	0.850
5	0.812	0.829	0.699	0.88	0.820
6	0.804	0.810	0.687	0.80	0.800
7	0.797	0.796	0.678	0.71	0.786
8	0.792	0.784	0.671	0.65	0.775
9	0.788	0.773	0.666	0.60	0.767
10	0.785	0.759	0.658	0.60	0.760

Eine Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse nach DIN 1055, EC1 und nach der probabilistischen Methode erfolgt in der Tabelle 6.1 und in der Abb. 6.1.

Die Berechnung mit Hilfe der Zuverlässigkeitstheorie hat die Empfehlung des EC 1 bestätigt. Die Abweichung in der Berechnung für Wohngebäude sollte als zusätzliche Sicherheit betrachtet werden.

Die Abweichung zum Vorschlag nach EC1 ist unwesentlich. Die Erfahrung der Autoren des EC 1 auf diesem Gebiet hat sich hier bestätigt.

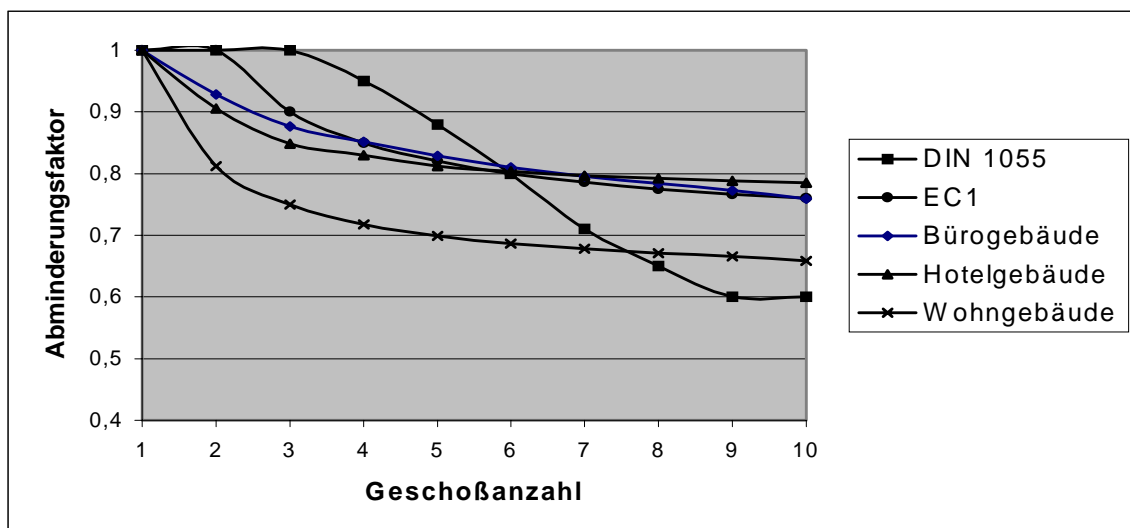


Abbildung 6.1: Vergleich der Abminderungsfaktoren nach der probabilistischen Methode mit den nach EC1 und DIN 1055

## Literaturverzeichnis

- [1] Actions on Structures, Live Loads in Buildings, Report by CIB Commission W81, First Edition, April 1989
- [2] Alyawdin, P., Werner, F.: "Auswahl maßgebender Lastkombinationen für große Tragwerke", Bauingenieur 72 (1997), 355-361
- [3] Background Documentation Eurocode 1 (ENV 1991) Part 1: Basis of Design March 1996 N° 94
- [4] Breitung, K.; Rackwitz, R.: "Nonlinear combination of load processes", J. Struct. Mech., 10 (2), 145-166
- [5] Chalk, P. L., Corotis, R. B.: "Probability Model for Design Live Loads", J. Structural Division, ASCE, 106 ST10, 1980, 2017-2033
- [6] Choi, E. C. C.: "Extraordinary live load in office buildings", J. Struct. Engrg., 117(11), 3216-3217
- [7] Choi, E. C. C.: "Live load in Office Buildings: Effect of Occupancy and Code Comparison", J. of the Struct. Eng. Vol. 116 No. 11, Nov. 1990, 3162-3174
- [8] Choi, E. C. C.: "Live load in Office Buildings: lifetime maximum load and the influence of room use", Proc. Inst. Civ. Engrs., Struct. And Buildings, ICE, London, UK., 94, 307-314
- [9] Choi, E. C. C.: "Live Load Model for Office Buildings", The Structural Engineer, Vol.67, No. 24/19, December (1989), 421-437
- [10] CIB Commission W81, April 1989: Actions on Structures, Live Loads in Buildings
- [11] Corotis, R. B.: "Statistical Analysis of Live Load in Column Design", J. of The Structural Division, Vol 98, No. ST8, Aug. 1972, 1803-1814
- [12] Corotis, R. B. ; Doshi, Vireshi. A.: "Probability models for live-load survey results", Proceedings ASCE 103 (1977). ST6. 1257-1274
- [13] Corotis, R. B.; Wen-Yang Tsay: "Probabilistic Load Duration Model for Live loads", J. Struct. Eng. Vol 109, April 1983, 859-872
- [14] Culver, C.: Survey results for fire loads and live loads in office buildings, Building Science Series 85. National Bureau of Standards, Washington 1976.
- [15] DIN V ENV 1991 - 1 (EC1) Anhang A: Tragwerksberechnung und -bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten. Deutsche Fassung 1994

- [16] Ditlevsen, O., Madsen, H. O.: "Probabilistic Modeling of man-made load processes and their individual and combined effects", Struct. Safety and Reliability: Proc., ICOSSAR '81, T. Moan and M. Shinozuka, eds., Trondheim, Norway, 103-135
- [17] Ditlevsen, O.: Structural reliability codes for probabilistic design – a debate paper based on elementary reliability and decision analysis concepts
- [18] Eurocode for Actions on Structures EC 1 Part 2.1, Background Dokument June 1990, Imposed Loads on Floors and Roofs, CEN/ TC 250 /SC1 / 90 /N19
- [19] Ferry-Borges, J.; Canstanheta, M.: Structural safety, 2<sup>nd</sup> Edi., National Civil Eng. Lab., Lisbon, Portugal, 1971
- [20] Fießler, B.: Entwicklung von Regeln zur Kombination stochastischer Lasten für die Tragwerksbemessung, Dissertation, München Juli 1983
- [21] Fischer, L.: "Sicherheitskonzept für neue Normen", Bautechnik Nov. 1998, Heft 11 104-108
- [22] Fischer, L.: "Statements zu den Eurocodes 1 bis 7", Bautechnik 74, 1997
- [23] Floris, C. ; Giommi, C.: "Multiple load combination analysis", Structural Safety and Reliability ICOSSAR'93 Volume 2, 1417-1423 , A. A. Balkema / Rotterdam /Brookfield / 1994
- [24] Floris, C.: "Stochastic Analysis of Load Combination", J. of Engineering Mechanics, Sept. 1998, 929-937.
- [25] Graße, W.: "Die Nutzung der Zuverlässigkeitstheorie zur Beurteilung der Homogenität des Sicherheitsniveaus tragender Stahlkonstruktionen", Wissenschaftliche Zeitschrift, Jahrgang 15/1991 Heft 3 ,203-209, Technische Hochschule Leipzig
- [26] Graße, W.: "Zur Kombination zeitveränderlicher Einwirkungen", Stahlbau 64 (1995), 230-238
- [27] Graße, W.: "Zur Lastkombinationsregel nach DIN 18800 Teil 1", Stahlbau 61 (1992) H. 5, 143-149
- [28] Graße, W.: "Zuverlässigkeitstheorie und Stahlbau", Jahresmitteilungen 1998, Schriftenreihe des Instituts für Tragwerke und Baustoffe Dresden, TU Dresden
- [29] Grigoriu, Mircea: "Analysis of General Combinations of Structural Loads", Fourth International Conference on Applications of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering, 249-260
- [30] Grigoriu, Mircea: "Load Combination Analysis by Translation", J. Struct. Eng., Vol. 110, No. 8, Aug. 1984, 1725-1734

- [31] Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen, 1. Auflage 1981, Herausgeber: DIN; Beuth Verlag
- [32] Gusella, Vittorio: "Safety Estimation Method for Structures with Cumulative Damage", J. of Engineering Mechanics, Vol. 124, N. 11, Nov. 1998, 1200-1209
- [33] Herzog, M.: "Die wahrscheinliche Nutzlast von Hochbauten", STZ Nr.17, 21. August 1980, 854-856
- [34] Hideka, Idota; Tetsuro, Ono: "Stochastic Live Load Model for Multiple Story Columns", Structural Safety & Reliability, 1994 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054103574, 1425-1432
- [35] Johnson, S. M.: Dead, Live, and Construction Loads. Technical Committee No. 5. State of Art Report 3.
- [36] Jong-Cherng Peir; C. Allin Cornell: "Spatial and Temporal Variability of Live Loads", J. of The Structural Division, May 1973, 903-922
- [37] König, G.: "Zum wirklichnahen Erfassen von Nutzlasten", Die Bautechnik 8 /1975, 275-281
- [38] Larrabee, R., Cornell, C. A.: "Upcrossing Rate Solution for Load Combinations", J. of the Structural Division 1979, 125-132
- [39] Larrabee, R., Cornell, C.A.: "Combination of various Load processes", J. of the Structural Division 1981, 223-239
- [40] Lissner, K., Zimmer, K.: "Zum Stand der Anwendung des Eurocodes 5 in Deutschland", Bauingenieur 72 (1997), 457-461
- [41] Madsen, H. O.: "Load Models and Load Combinations", Rep. No. R 113, Struct. Res. Lab., Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark (1979)
- [42] Madsen, H.O., Turkstra, C.: "Load Combinations in Codified Structural Design", Journal of the Structural Division 1980, 2527-2543
- [43] McGuire, R. K., Cornell, C. A.: "Live Load Effects in Office Buildings", J. Of the Struct. Div. Vol. 100, No ST7, July 1974, 1351-1366
- [44] Melchers, R.E.: Structural Reliability, Analysis and Prediction. John Wiley & Sons, 1999
- [45] Mitchel, G. R.: Reports of the Working Commissions Symposium on Concepts of Safety of Structures and Methods of Design, London, 1969, 51-62
- [46] Murzewski, Janus: "Combinations of Stochastic Processes Actions on Bridge Structures", International Bridge Conference Warsaw '94, 20-22 June 1994



- [47] Murzewski, Janus: "Upper Bound for Combination of Action Effects", Structural Safety, Vol. 18. 1996, No. 2/3, 279-290
- [48] Östlund, Lars: "Load Combination in Codes", Structural Safety, 13 (1993), 83-92
- [49] Peir, J. C.: A Stochastic Live Load Model for Buildings. Research Report R 71-35, (1971) School of Engrg., Massachusetts Inst. Of Tech., Cambridge, Mass.
- [50] Quast, U.: "Zur Kombination von Einwirkungen nach EC2", Beton- und Stahlbetonbau 91 (1996), Heft 2, 25-29,
- [51] Rackwitz, R.: Der Ingenieurbau, Tragwerkszuverlässigkeit, Einwirkungen
- [52] Shinozuka, M.: "Load Combination and Load Resistance Factor Design", Structural Safety and Reliability
- [53] SIA 160: Einwirkungen auf Tragwerke (Ausgabe 1989)
- [54] Sonia, E. Ruiz; Alberto Soriano: "Design Live Loads for Office Buildings in Mexico and the United States", J. of Structural Eng. June 1997, 816-822
- [55] Sonia, E. Ruiz; Antonio Sampayo-Trujillo: "Design Live Loads for Classrooms in Mexico and the United States", J. of Structural Eng. Dec. 1997, 1652-1657
- [56] Spaethe, G. "Lastkombination Teil 2: Zuverlässigkeitstheoretische Bewertung von Lastkombinationsregeln", Bauplanung-Bautechnik, 43 Jg. Heft 11, Nov 989, 499-501
- [57] Spaethe, G.: "Lastkombination, Lastkombination Teil 1: Kombinationsregeln der Normen", Bauplanung-Bautechnik 43 ( 1989), 395-397
- [58] Spaethe, G.: Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. Springer Verlag Wien New York 1992
- [59] Spaethe, G.: Forschungsbericht, Kalibrierung von Kombinationswerten des Eurocodes „ Lasten und Einwirkungen“ – Methoden und Erprobung an einem Beispiel, T 2342
- [60] Stewart, M. G.: "Optimization of serviceability load combinations for structural steel beam design", Structural Safety, Vol. 18. 1996, No. 2/3, 225-238
- [61] Timm, G.: Technische Regelwerke, Einwirkungen nach Eurocode, Stahlbau 65 (1996), Ernst & Sohn, 228-229
- [62] Vrouwenvelder, T.: "The JCSS probabilistic model code", Structural Safety VOL 19, NO. 3 1997, 245
- [63] Wen, Yi-Kwei: "Statistical Combination of Extreme Loads", J. of the Structural Division 1977, 1079-1092
- [64] Wen, Y-K.: "Probability of extrem Load Combination", Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, San Francisco, Cal., Aug., 1977

- [65] Winterstein, S.; Cornell, A. C.: "Load Combinations and Clustering Effects", J. Struct. Eng., Vol. 110, No. 11, Nov 1984, 2690-2708

### **Weitere Literaturquellen:**

- [66] Achintya, H. ; Gao, L.: "Reliability Evaluation using SFEM", Probabilistic Mechanics & Structural Reliability, Proceedings Of The Seventh Speciality Conference, Worcester August 7-9, 1996, 166-169
- [67] Allan Gut: An Intermediate Course in Probability, Springer Verlag 1995
- [68] Andrä, H.-P; Avak, R.: Hinweise zur Bemessung von Punktgestützen Platten. In: Stahlbetonbau aktuell; Jahrbuch für die Baupraxis; Düsseldorf, Werner, Beuth, (2) 1999, H.3-H.15
- [69] Avak, R.: Fertigteildecken. In: Stahlbetonbau aktuell; Jahrbuch für die Baupraxis; Düsseldorf, Werner, Beuth, (1) 1998, H.5-H.23
- [70] Boris Gnedenko, Igor Ushakov: Probabilistic Reliability Engineering, John Wiley & Sons, 1993
- [71] Borri, A.; Speranzini, E.: "Structural reliability analysis using a standard deterministic finite element code", Structural Safety VOL 19, NO. 4 1997, 361
- [72] Brian Roberts; Fabio Casciati.: Mathematical Models for Structural Reliability Analysis, CRC PRESS, New York 1996
- [73] Bucher C.: PReSLang A Graphical Preprocessor for System Definition in Structural Analysis, April 1999
- [74] Bucher, C., Shorling Y.: SLang, The Structural Language. Software Handbook, Weimar , Jan. 1996
- [75] Caers, J.; Maes, M. A.: Identifying tails, bounds and end-points of random variables, Structural Safety VOL 20, NO. 1 1997, 1
- [76] Cook, Robert D.: Finite Element Modelling for Stress Analysis, John Wiley & Sons, INC. 1994
- [77] Culver, C.: Survey results for fire loads and live loads in office buildings, Building Science Series 85. National Bureau of Standards, Washington 1976.
- [78] Deutscher Wetterdienst: Wetterdaten zum Wind und Schnee, Diskette, 1998
- [79] DIN 1055
- [80] DIN 18800 Teil 1, Stahlbauten: Bemessung und Konstruktion ( Ausgabe Nov 1990)
- [81] Ditlevsen, O.; H. O. Madsen: Proposal for a code for the direct use of reliability methods in structural Design

- [82] Ditlevsen, O.; Tarp-Johansen, J. N.: "Choice of input fields in stochastic finite elements", Probabilistic Mechanics & Structural Reliability, Proceedings Of The Seventh Speciality Conference, Worcester August 7-9, 1996, 820-837
- [83] Dunham, J. W.: "Design Live Load in Buildings", Trans. ASCE, 112, 1947
- [84] ENV 1991-2-1: 1995
- [85] Eibl, J.: Betonkalender 1998 Teil 1; Ernst & Sohn
- [86] Foshi, R. O.; Li, H.: "An inverse reliability method and its applications", Structural Safety VOL 20, NO. 3 1998, 257
- [87] Frank Beichelt.: Stochastische Prozesse für Ingenieure, B. G. Teubner Stuttgart 1997
- [88] Franz, G.; Hampe, E.; Schäfer, K.: Konstruktionslehre des Stahlbetons, Band II: Tragwerke, Entstehen und Bestehen der Bauwerke, Springer Verlag 1991
- [89] Friedly, K. J., Roberts, K.A, Mitchell, J. B.: "Estimating Ground Snow Loads Using Local Climatological Data", J. of Struct. Engrg, 120 (129), 3567-3576, 1994
- [90] Ghanem, R.: "Hybrid Stochastic Finite Elements and Generalized Monte Carlo Simulation", Probabilistic Mechanics & Structural Reliability, Proceedings Of The Seventh Speciality Conference, Worcester August 7-9, 1996, 182-185
- [91] Götschmann, G; Krone, H.: Klimadaten der DDR- Ein Handbuch für die Praxis, Reihe B, Band 4 „Wind“, Hauptamt für Klimatologie Potsdam,
- [92] Graham, L. ; Deodatis, G.: "Variability response functions for stochastic plate bending problems", Structural Safety VOL 20, NO. 2 1998, 167
- [93] Gross, D.; Bryson, J. O.: Techniques for the survey and evaluation of live floor loads and fire loads in modern office buildings. Building Science Series 16. National Bureau of Standards, Washington 1967
- [94] Harr, E. Milton: Reliability-Based Design in Civil Engineering, Dover Publications, INC, Mineola, New York 1996
- [95] Hartz, U.: "Eurocodes, Stand und Entwicklung", Bautechnik Nov. 1998 Heft 11.
- [96] Hawranek, R.; Petersen C.: Sicherheit gedrückter Stahlstützen unter Berücksichtigung der statistischen Verteilung von E-Modul, Fließgrenze, Eigenspannungen, Querschnittsfläche und Vorkrümmung. Bericht zur Sicherheitstheorie der Bauwerke, TU München, H. 8/ 1975
- [97] Hinton, E.; Owen, D. R.; Krause, G.: Finite Elemente Programme für Platten und Schalen, Springer Verlag 1990.

- [98] Hoshiya, M. ; Yoshida, L: "Observation and Conditional Stochastic FEM", Probabilistic Mechanics & Structural Reliability, Proceedings Of The Seventh Speciality Conference, Worcester August 7-9, 1996, 178-181
- [99] IABSE 2<sup>nd</sup> International Colloquium on Stability of Steel Structures, Tokyo 1976, Liege 1977, Washington 1977, Introductory Report
- [100] Kahl, E. ; Nassau, V.: Gebäudestrukturen des Bürobaues; Entwurfskriterien und Tragwerksysteme für Bürogebäude
- [101] Karman, T.: "Untersuchungen über die Nutzlasten von Decken bei Wohngebäuden", Österreichische Ingenieurzeitschrift , 9 Jahrgang, Heft 4. 119-123
- [102] Klingmüller, O; Bourgund, U.: Sicherheit und Risiko im Konstruktiven Ingenieurbau, Vieweg & Sohn Verlag Wiesbaden 1992
- [103] Kmicik; Pfau; Wiebeck; Wismur: Nichtlineare Berechnung ebener Flächentragwerke, Verlag für Bauwesen Berlin München 1993
- [104] Lawrence M. Lemis: Probabilistic Models and Statistical Methods, Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1995
- [105] Madsen, H. O., Ditlevsen, O.: Structural Reliability Methods, John Wiley & Sons 1996
- [106] Mathies, H. G.; Brenner, C. E.; Bucher, C. G.; Soares, G. C.: "Uncertainties in probabilistic numerical analysis of structures and solids- Stochastic finite elements", Structural Safety VOL 19, NO. 3 1997, 283
- [107] Medhi, J. Stochastic Processes, John Wiley & Sons 1994
- [108] Memorandum CON-92-1337/VRA/BKA, JCSS-VROU-01-93: Project on Eurocode Random Variable Models
- [109] Michael Koutsoukis, Edmund Melerski: "Random Elastic Response Characteristics of Bar Structures by Monte Carlo Simulation", Probabilistic Mechanics & Structural Reliability, Proceedings Of The Seventh Speciality Conference, Worcester August 7-9, 1996, 812-815
- [110] Misra, K. B.: New Trends in System Reliability Evaluation, Elsevier 1993
- [111] Misra, K. B.: Reliability Analysis and Prediction, A Methodology Oriented Treatment, Elsevier 1992
- [112] Mistler, H. L.: "Modellvorstellung zur Berechnung der Querschubbruchwahrscheinlichkeit, Ein einfacher Weg zu wirtschaftlichen Holzträgern", Deutsches Ingenieur Blatt Januar/Februar 1998
- [113] Mohr, G. A.: Finite Elements for solids, fluids and optimization. Oxford University Press 1992

- [114] NBS Building Science Series 85: Survey results for Fire Loads and live Loads in Office Buildings, U.S. Department of commerce/ National Bureau of Standards
- [115] Nelson, Randolph: Probability, Stochastic Processes, and Queuing Theory, Springer Verlag 1995
- [116] Nollau, V.: Statistische Analysen, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1975
- [117] Palle Thoft-Christensen; Yoshisada Murotsu: Application of Structural Systems reliability Theory , Springer Verlag 1985
- [118] Plate, E, J.: Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure. Ernst & Sohn Berlin 1993
- [119] Reddy, J. N.: An Introduction to The Finite Element Method, McGraw-Hill, Inc. 1993
- [120] Reid, S. G.: "Probability-based patterned live loads for design", Structural Safety Vol 19. 37-52 , 1997
- [121] Roik, K.: Die Tragwerkssicherheit., Vorlesungen über Stahlbau, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn Berlin-München 1983
- [122] Sachs Lothar: Angewandte Statistik, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1978
- [123] Schorling, York.: Beitrag zur Untersuchung von Strukturen mit räumlich korrelierten geometrischen Imperfektionen, Dissertation, Institut für Strukturmechanik, Weimar, Bericht 2/98.
- [124] Schütt, H.: Belastungsanordnung und Kombination von Geschoßbauten. Dipl. Arbeit, BTU Cottbus, September 1997
- [125] Smirnof, N. W., Dunin-Barkowski, I. W. Mathematische Statistik in der Technik, DVW Berlin 1963
- [126] Specification for Structural Steel Buildings (USA): Load and Resistance Factor Design (Ausgabe Sept. 1986)
- [127] STATREL, STRUREL.: RCP Reliability Consulting Programms, STATREL: Users Manual, RCP Consult 1993
- [128] Thompson, G. N.; Brekke, C. N.; Dunham, J. W.: Live Loads in Buildings and Structures Report 133. National Bureau of Standards, Washington 1952
- [129] Tijms, Henk, C.: Stochastic models, An algorithmic Approach, John Wiley & Sons 1994
- [130] Vrouwenvelder, T.: "The JCSS probabilistic model code", Structural Safety VOL 19, NO. 3 1997, 245

- [131] Woodgate, R. W.; Mitchell, G. R.: Floor loadings in office buildings- The results of a survey. Current Paper 3 / 71, Building Research Station Garston, Watford. England 1971
- [132] Wörner, J. D.; Shen, X.: "Entwicklung eines Bemessungs- und Sicherheitskonzeptes für den Glasbau", Bauingenieur Bd. 73 (1998), Nr.1 – Januar
- [133] Zhang, J., Ellingwood, B.: "SFEM-based Structural Reliability Analysis", Probabilistic Mechanics & Structural Reliability, Proceedings Of The Seventh Speciality Conference, Worcester August 7-9, 1996, 170-173

## Anhang 1. Berechnungsablauf zu den Abminderungsfaktoren

```

ranvar allocate, replace, 60,/
*Hier werden Angaben zu den Nutzlasten und Einwirkungsdauer bzw.
Wiederholungsperioden vereinbart/
object create, real, , mean_on_time_dauer1/
object read, , mean_on_time_dauer1 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer1/
object read, , mean_off_time_dauer1 .0385,/
object create, real, , mean_value_dauer1/
object read, , mean_value_dauer1 0.6,/
object create, real, , standard_dauer1/
object read, , standard_dauer1 0.3,/
*_____/
object create, real, , mean_on_time_dauer2/
object read, , mean_on_time_dauer2 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer2/
object read, , mean_off_time_dauer2 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer2/
object read, , mean_value_dauer2 0.6,/
object create, real, , standard_dauer2/
object read, , standard_dauer2 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer3/
object read, , mean_on_time_dauer3 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer3/
object read, , mean_off_time_dauer3 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer3/
object read, , mean_value_dauer3 0.6,/
object create, real, , standard_dauer3/
object read, , standard_dauer3 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer4/
object read, , mean_on_time_dauer4 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer4/
object read, , mean_off_time_dauer4 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer4/
object read, , mean_value_dauer4 0.6,/

```

```

object create, real, , standard_dauer4/
object read, , standard_dauer4 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer5/
object read, , mean_on_time_dauer5 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer5/
object read, , mean_off_time_dauer5 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer5/
object read, , mean_value_dauer5 0.6,/
object create, real, , standard_dauer5/
object read, , standard_dauer5 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer6/
object read, , mean_on_time_dauer6 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer6/
object read, , mean_off_time_dauer6 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer6/
object read, , mean_value_dauer6 0.6,/
object create, real, , standard_dauer6/
object read, , standard_dauer6 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer7/
object read, , mean_on_time_dauer7 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer7/
object read, , mean_off_time_dauer7 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer7/
object read, , mean_value_dauer7 0.6,/
object create, real, , standard_dauer7/
object read, , standard_dauer7 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer8/
object read, , mean_on_time_dauer8 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer8/
object read, , mean_off_time_dauer8 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer8/
object read, , mean_value_dauer8 0.6,/
object create, real, , standard_dauer8/
object read, , standard_dauer8 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer9/
object read, , mean_on_time_dauer9 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer9/
object read, , mean_off_time_dauer9 .0385,/

object create, real, , mean_value_dauer9/
object read, , mean_value_dauer9 0.6,/
object create, real, , standard_dauer9/
object read, , standard_dauer9 0.3,/
*_____/

object create, real, , mean_on_time_dauer10/
object read, , mean_on_time_dauer10 8,/
object create, real, , mean_off_time_dauer10/
object read, , mean_off_time_dauer10 .0385,/

```

```

object create, real, , mean_value_dauer10/
object read, , mean_value_dauer10 0.6,/
object create, real, , standard_dauer10/
object read, , standard_dauer10 0.3,/
* _____/

* _____KURZZEITLASTEN_____/

object create, real, , mean_on_time_kurz1/
object read, , mean_on_time_kurz1 0.0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz1/
object read, , mean_off_time_kurz1 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz1/
object read, , mean_value_kurz1 0.23,/
object create, real, , standard_kurz1/
object read, , standard_kurz1 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz2/
object read, , mean_on_time_kurz2 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz2/
object read, , mean_off_time_kurz2 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz2/
object read, , mean_value_kurz2 0.23,/
object create, real, , standard_kurz2/
object read, , standard_kurz2 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz3/
object read, , mean_on_time_kurz3 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz3/
object read, , mean_off_time_kurz3 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz3/
object read, , mean_value_kurz3 0.23,/
object create, real, , standard_kurz3/
object read, , standard_kurz3 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz4/
object read, , mean_on_time_kurz4 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz4/
object read, , mean_off_time_kurz4 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz4/
object read, , mean_value_kurz4 0.23,/
object create, real, , standard_kurz4/
object read, , standard_kurz4 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz5/
object read, , mean_on_time_kurz5 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz5/
object read, , mean_off_time_kurz5 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz5/
object read, , mean_value_kurz5 0.23,/
object create, real, , standard_kurz5/
object read, , standard_kurz5 0.21,/
* _____/

```



```

object create, real, , mean_on_time_kurz6/
object read, , mean_on_time_kurz6 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz6/
object read, , mean_off_time_kurz6 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz6/
object read, , mean_value_kurz6 0.23,/
object create, real, , standard_kurz6/
object read, , standard_kurz6 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz7/
object read, , mean_on_time_kurz7 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz7/
object read, , mean_off_time_kurz7 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz7/
object read, , mean_value_kurz7 0.23,/
object create, real, , standard_kurz7/
object read, , standard_kurz7 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz8/
object read, , mean_on_time_kurz8 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz8/
object read, , mean_off_time_kurz8 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz8/
object read, , mean_value_kurz8 0.23,/
object create, real, , standard_kurz8/
object read, , standard_kurz8 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz9/
object read, , mean_on_time_kurz9 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz9/
object read, , mean_off_time_kurz9 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz9/
object read, , mean_value_kurz9 0.23,/
object create, real, , standard_kurz9/
object read, , standard_kurz9 0.21,/
* _____/

object create, real, , mean_on_time_kurz10/
object read, , mean_on_time_kurz10 .0385,/
object create, real, , mean_off_time_kurz10/
object read, , mean_off_time_kurz10 7.96,/

object create, real, , mean_value_kurz10/
object read, , mean_value_kurz10 0.23,/
object create, real, , standard_kurz10/
object read, , standard_kurz10 0.21,/
* _____/

ranvar create,
    exponential, 1 mean_on_time_dauer1 mean_on_time_dauer1,
    on_time_dauer1/
ranvar create,
    exponential, 2 mean_on_time_dauer2 mean_on_time_dauer2,
    on_time_dauer2/
ranvar create,

```

```

        exponential, 3 mean_on_time_dauer3 mean_on_time_dauer3,
        on_time_dauer3/
ranvar create,
        exponential, 4 mean_on_time_dauer4 mean_on_time_dauer4,
        on_time_dauer4/

ranvar create,
        exponential, 5 mean_on_time_dauer5 mean_on_time_dauer5,
        on_time_dauer5/

ranvar create,
        exponential, 6 mean_on_time_dauer6 mean_on_time_dauer6,
        on_time_dauer6/
ranvar create,
        exponential, 7 mean_on_time_dauer7 mean_on_time_dauer7,
        on_time_dauer7/

ranvar create,
        exponential, 8 mean_on_time_dauer8 mean_on_time_dauer8,
        on_time_dauer8/

ranvar create,
        exponential, 9 mean_on_time_dauer9 mean_on_time_dauer9,
        on_time_dauer9/

ranvar create,
        exponential, 10 mean_on_time_dauer10 mean_on_time_dauer10,
        on_time_dauer10/

* _____/

ranvar create,
        exponential, 11 mean_off_time_dauer1 mean_off_time_dauer1,
        off_time_dauer11/

ranvar create,
        exponential, 12 mean_off_time_dauer2 mean_off_time_dauer2,
        off_time_dauer12/

ranvar create,
        exponential, 13 mean_off_time_dauer3 mean_off_time_dauer3,
        off_time_dauer13/

ranvar create,
        exponential, 14 mean_off_time_dauer4 mean_off_time_dauer4,
        off_time_dauer14/

ranvar create,
        exponential, 15 mean_off_time_dauer5 mean_off_time_dauer5,
        off_time_dauer15/

ranvar create,
        exponential, 16 mean_off_time_dauer6 mean_off_time_dauer6,
        off_time_dauer16/

ranvar create,
        exponential, 17 mean_off_time_dauer7 mean_off_time_dauer7,
        off_time_dauer17/

ranvar create,
        exponential, 18 mean_off_time_dauer8 mean_off_time_dauer8,
        off_time_dauer18/

```

```

ranvar create,
    exponential, 19 mean_off_time_dauer9 mean_off_time_dauer9,
    off_time_dauer19/

ranvar create,
    exponential, 20 mean_off_time_dauer10 mean_off_time_dauer10,
    off_time_dauer20/

* _____/

ranvar create,
    lognormal, 21 mean_value_dauer1 standard_dauer1,
    dauer_load1/

ranvar create,
    lognormal, 22 mean_value_dauer2 standard_dauer2,
    dauer_load2/

ranvar create,
    lognormal, 23 mean_value_dauer3 standard_dauer3,
    dauer_load3/

ranvar create,
    lognormal, 24 mean_value_dauer4 standard_dauer4,
    dauer_load4/

ranvar create,
    lognormal, 25 mean_value_dauer5 standard_dauer5,
    dauer_load5/

ranvar create,
    lognormal, 26 mean_value_dauer6 standard_dauer6,
    dauer_load6/

ranvar create,
    lognormal, 27 mean_value_dauer7 standard_dauer7,
    dauer_load7/

ranvar create,
    lognormal, 28 mean_value_dauer8 standard_dauer8,
    dauer_load8/

ranvar create,
    lognormal, 29 mean_value_dauer9 standard_dauer9,
    dauer_load9/

ranvar create,
    lognormal, 30 mean_value_dauer10 standard_dauer10,
    dauer_load10/

* _____/

ranvar create,
    exponential, 31 mean_on_time_kurz1 mean_on_time_kurz1,
    on_time_kurz1/
ranvar create,
    exponential, 32 mean_on_time_kurz2 mean_on_time_kurz2,
    on_time_kurz2/
ranvar create,
    exponential, 33 mean_on_time_kurz3 mean_on_time_kurz3,
    on_time_kurz3/
ranvar create,

```

```

    exponential, 34 mean_on_time_kurz4 mean_on_time_kurz4,
    on_time_kurz4/

ranvar create,
    exponential, 35 mean_on_time_kurz5 mean_on_time_kurz5,
    on_time_kurz5/

ranvar create,
    exponential, 36 mean_on_time_kurz6 mean_on_time_kurz6,
    on_time_kurz6/
ranvar create,
    exponential, 37 mean_on_time_kurz7 mean_on_time_kurz7,
    on_time_kurz7/

ranvar create,
    exponential, 38 mean_on_time_kurz8 mean_on_time_kurz8,
    on_time_kurz8/

ranvar create,
    exponential, 39 mean_on_time_kurz9 mean_on_time_kurz9,
    on_time_kurz9/

ranvar create,
    exponential, 40 mean_on_time_kurz10 mean_on_time_kurz10,
    on_time_kurz10/

* _____/

ranvar create,
    exponential, 41 mean_off_time_kurz1 mean_off_time_kurz1,
    off_time_kurz11/

ranvar create,
    exponential, 42 mean_off_time_kurz2 mean_off_time_kurz2,
    off_time_kurz12/

ranvar create,
    exponential, 43 mean_off_time_kurz3 mean_off_time_kurz3,
    off_time_kurz13/

ranvar create,
    exponential, 44 mean_off_time_kurz4 mean_off_time_kurz4,
    off_time_kurz14/

ranvar create,
    exponential, 45 mean_off_time_kurz5 mean_off_time_kurz5,
    off_time_kurz15/

ranvar create,
    exponential, 46 mean_off_time_kurz6 mean_off_time_kurz6,
    off_time_kurz16/

ranvar create,
    exponential, 47 mean_off_time_kurz7 mean_off_time_kurz7,
    off_time_kurz17/

ranvar create,
    exponential, 48 mean_off_time_kurz8 mean_off_time_kurz8,
    off_time_kurz18/

ranvar create,
    exponential, 49 mean_off_time_kurz9 mean_off_time_kurz9,
    off_time_kurz19/

```

```

ranvar create,
    exponential, 50 mean_off_time_kurz10 mean_off_time_kurz10,
    off_time_kurz20/

```

```

* _____/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 51 mean_value_kurz1 standard_kurz1,
    kurz_load1/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 52 mean_value_kurz2 standard_kurz2,
    kurz_load2/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 53 mean_value_kurz3 standard_kurz3,
    kurz_load3/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 54 mean_value_kurz4 standard_kurz4,
    kurz_load4/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 55 mean_value_kurz5 standard_kurz5,
    kurz_load5/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 56 mean_value_kurz6 standard_kurz6,
    kurz_load6/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 57 mean_value_kurz7 standard_kurz7,
    kurz_load7/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 58 mean_value_kurz8 standard_kurz8,
    kurz_load8/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 59 mean_value_kurz9 standard_kurz9,
    kurz_load9/

```

```

ranvar create,
    lognormal, 60 mean_value_kurz10 standard_kurz10,
    kurz_load10/

```

```

* _____/

```

```

object create, real, , life_time/
object read, , life_time 10000.0, /

```

```

object create, , , num_life_time/
object read, , num_life_time 1,/

```

```

object create, , , num_on_dauer/
object read, , num_on_dauer 7300000, /

```

```

object create, , , num_on_kurz/
object read, , num_on_kurz 7300000, /

```

```

* _____/

```

```

Perform complete Monte Carlo Simulation/

```

```

ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer1,
    sample_on_time_dauer1/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer2,
    sample_on_time_dauer2/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer3,
    sample_on_time_dauer3/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer4,
    sample_on_time_dauer4/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer5,
    sample_on_time_dauer5/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer6,
    sample_on_time_dauer6/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer7,
    sample_on_time_dauer7/

ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer8,
    sample_on_time_dauer8/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer9,
    sample_on_time_dauer9/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_dauer on_time_dauer10,
    sample_on_time_dauer10/

* _____/

ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer11,
    sample_off_time_dauer11/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer12,
    sample_off_time_dauer12/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer13,
    sample_off_time_dauer13/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer14,
    sample_off_time_dauer14/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer15,
    sample_off_time_dauer15/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer16,
    sample_off_time_dauer16/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer17,
    sample_off_time_dauer17/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer18,
    sample_off_time_dauer18/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer19,
    sample_off_time_dauer19/
ranvar simulate, compiler replace, num_off_dauer off_time_dauer20,
    sample_off_time_dauer20/

* _____/

ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load1,
    sample_dauer_load1/
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load2,
    sample_dauer_load2/
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load3,
    sample_dauer_load3/
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load4,
    sample_dauer_load4/
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load5,
    sample_dauer_load5/
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load6,
    sample_dauer_load6/
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load7,
    sample_dauer_load7/
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load8,
    sample_dauer_load8/

```

```
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load9,  
    sample_dauer_load9/  
ranvar simulate, compiler replace, num_on_dauer dauer_load10,  
    sample_dauer_load10/  
* _____/
```

```
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz1,  
    sample_on_time_kurz1/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz2,  
    sample_on_time_kurz2/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz3,  
    sample_on_time_kurz3/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz4,  
    sample_on_time_kurz4/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz5,  
    sample_on_time_kurz5/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz6,  
    sample_on_time_kurz6/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz7,  
    sample_on_time_kurz7/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz8,  
    sample_on_time_kurz8/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz9,  
    sample_on_time_kurz9/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz on_time_kurz10,  
    sample_on_time_kurz10/  
* _____/
```

```
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz11,  
    sample_off_time_kurz11/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz12,  
    sample_off_time_kurz12/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz13,  
    sample_off_time_kurz13/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz14,  
    sample_off_time_kurz14/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz15,  
    sample_off_time_kurz15/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz16,  
    sample_off_time_kurz16/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz17,  
    sample_off_time_kurz17/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz18,  
    sample_off_time_kurz18/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz19,  
    sample_off_time_kurz19/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz off_time_kurz20,  
    sample_off_time_kurz20/  
* _____/
```

```
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load1,  
    sample_kurz_load1/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load2,  
    sample_kurz_load2/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load3,  
    sample_kurz_load3/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load4,  
    sample_kurz_load4/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load5,  
    sample_kurz_load5/  
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load6,
```

```

        sample_kurz_load6/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load7,
        sample_kurz_load7/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load8,
        sample_kurz_load8/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load9,
        sample_kurz_load9/
ranvar simulate, compiler replace , num_on_kurz kurz_load10,
        sample_kurz_load10/
* _____/

object create,replace , , count_life_time/
object create, replace, , count_dauer/
object create, replace, , count_kurz/
Life-time ist divided into some intervals for obtaining combinations
/
object create,replace , , num_interval/
object read, , num_interval 3650000,/
object create, real matrix, num_interval 4, Nutzlasten/
object create, real , , delta_t/
object read, , delta_t \div life_time num_interval,/

* im Folgenden werden Nutzlasten für die erste Bezugsfläche als Prozesse
berechnet und dargestellt /

#label next_life_time
    object modify, add, count_life_time 1,/
    object create, replace real, , total_time/
    object initialize, , Nutzlasten 0,/
    object create, replace, , delta_count/
    object create, real replace, , the_time/
    object create, replace, , begin_count/
    object create, replace, , end_count/
#label next_time_dauer
    object create, replace, , inner_count/
    object modify, add, count_dauer 1,/
    object modify, set, begin_count end_count,/
    object modify, set, end_count \int \div total_time delta_t,/
    object modify, set, inner_count begin_count,/
#label next_sub1
    object modify, add, inner_count 1,/
    control if, integer greater, inner_count num_interval
exit1,/

    output print, , inner_count,/
    object modify, set, Nutzlasten(inner_count) (1) 0,/
    control if, integer less, inner_count end_count next_sub1,/
    object modify, add, total_time
sample_on_time_dauer1(count_dauer),/
    object modify, set, begin_count end_count,/
    object modify, set, end_count \int \div total_time delta_t,/
    object modify, set, inner_count begin_count,/
#label next_subla
    object modify, add, inner_count 1,/
    control if, integer greater, inner_count num_interval exit1,/
    output print, , inner_count,/
    object modify, set, Nutzlasten(inner_count) (1)
    sample_dauer_load1(count_dauer),/
    control if, integer less, inner_count end_count next_subla,/
    object modify, add, total_time
sample_off_time_dauer11(count_dauer),/
    object modify, multiply, life_time 10. ,/
    control if, real less, total_time life_time next_time_dauer,/
#label exit1

```



```

    object read, , total_time 0,/
    object read, , end_count 0,/
    object extract, replace column, Nutzlasten 1, tmp1b1/
    output file, text plain append, tmp1b1, Dauerlastenb1.txt/
#label next_time_kurz
    object create, replace, , inner_count/
    object modify, add, count_kurz 1,/
    object modify, set, begin_count end_count,/
    object modify, set, end_count \int \div total_time delta_t,/
    object modify, set, inner_count begin_count,/
#label next_sub2
    object modify, add, inner_count 1,/
    control if, integer greater, inner_count num_interval
exit2,/
    output print, , inner_count,/
    object modify, set, Nutzlasten(inner_count) (2) 0,/
    control if, integer less, inner_count end_count next_sub2,/
    object modify, add, total_time
sample_on_time_kurz1(count_kurz),/
    object modify, set, begin_count end_count,/
    object modify, set, end_count \int \div total_time delta_t,/
    object modify, set, inner_count begin_count,/
#label next_sub2a
    object modify, add, inner_count 1,/
    control if, integer greater, inner_count num_interval exit2,/
    output print, , inner_count,/
    object modify, set, Nutzlasten(inner_count) (2)
    sample_kurz_load1(count_kurz),/
    control if, integer less, inner_count end_count next_sub2a,/
    object modify, add, total_time
sample_off_time_kurz11(count_kurz),/
    object modify, multiply, life_time 10. ,/
    control if, real less, total_time life_time next_time_kurz,/
#label exit2
    object extract, replace column, Nutzlasten 2, tmp2b1/
    output file, text plain append, tmp2b1, Kurzlastenb1.txt/
control if, integer less, count_life_time num_life_time next_life_time,/

string create,replace, 60,EingabeD/
string read, , EingabeD Dauerlastenb1.txt,/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeD 3650000 1, ErgebnismatrixD/
string create,replace, 60,EingabeK/
string read, , EingabeK Kurzlastenb1.txt ,/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeK 3650000 1, ErgebnismatrixK/
object extract, column, ErgebnismatrixD 1 ,TEMPD/
object extract, column, ErgebnismatrixK 1 ,TEMPK/
    linalg lincomb, replace, 2 TEMPD 1.0 TEMPK 1.0, Bezugsflächel_1/

* Die Datei mit den Übertragungsfaktoren wird eingelesen /
string create,replace, 60,Übertrag/
string read, , Übertrag Übertragungsfaktoren.txt,/
input file, replace text plain real vector,
    Übertrag 10, MatrixD/
object extract, row, MatrixD 1 ,ÜB1/

    output file, text plain append, Bezugsflächel,
Stützenlasten_aus_der_Bezugsflächel_1.txt/

* Ähnlicherweise werden Prozesse für die übrigen Bezugsflächen und
Geschossen simuliert.

```

\* Für die erste Bezugsfläche vom zweiten Geschoß lautet die Datei  
Stützenlasten\_aus\_der\_Bezugsfläche1\_2.txt  
\* Nach 10 Bezugsflächen für jedes Geschoß sind alle Dateien vorhanden:

\*Auswertung des ersten Geschosses/

```
string create,replace, 60,EingabeB1_1/
string create,replace, 60,EingabeB2_1/
string create,replace, 60,EingabeB3_1/
string create,replace, 60,EingabeB4_1/
string create,replace, 60,EingabeB5_1/
string create,replace, 60,EingabeB6_1/
string create,replace, 60,EingabeB7_1/
string create,replace, 60,EingabeB8_1/
string create,replace, 60,EingabeB9_1/
string create,replace, 60,EingabeB10_1/

string read, , EingabeB1_1 Bezugsfläche1_1.txt ,/
string read, , EingabeB2_1 Bezugsfläche2_1.txt ,/
string read, , EingabeB3_1 Bezugsfläche3_1.txt ,/
string read, , EingabeB4_1 Bezugsfläche4_1.txt ,/
string read, , EingabeB5_1 Bezugsfläche5_1.txt ,/
string read, , EingabeB6_1 Bezugsfläche6_1.txt ,/
string read, , EingabeB7_1 Bezugsfläche7_1.txt ,/
string read, , EingabeB8_1 Bezugsfläche8_1.txt ,/
string read, , EingabeB9_1 Bezugsfläche9_1.txt ,/
string read, , EingabeB10_1 Bezugsfläche10_1.txt ,/

input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB1_1 3650000 1, MatrixB1_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB2_1 3650000 1, MatrixB2_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB3_1 3650000 1, MatrixB3_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB4_1 3650000 1, MatrixB4_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB5_1 3650000 1, MatrixB5_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB6_1 3650000 1, MatrixB6_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB7_1 3650000 1, MatrixB7_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB8_1 3650000 1, MatrixB8_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB9_1 3650000 1, MatrixB9_1/
input file, replace text plain real matrix,
    EingabeB10_1 3650000 1, MatrixB10_1/

string create,replace, 60,ÜBTRF/
string read, , ÜBTRF Übertragungsfaktoren.txt ,/

input file, replace text plain real matrix,
    ÜBTRF 10 1, ÜBERTRF/
object extract, row, ÜBERTRF 1 ,TEMP1_1/
object extract, row, ÜBERTRF 2 ,TEMP2_1/
object extract, row, ÜBERTRF 3 ,TEMP3_1/
object extract, row, ÜBERTRF 4 ,TEMP4_1/
object extract, row, ÜBERTRF 5 ,TEMP5_1/
object extract, row, ÜBERTRF 6 ,TEMP6_1/
object extract, row, ÜBERTRF 7 ,TEMP7_1/
object extract, row, ÜBERTRF 8 ,TEMP8_1/
```

```

object extract, row, ÜBERTRF 9 ,TEMP9_1/
object extract, row, ÜBERTRF 10 ,TEMP10_1/

*output file, text plain , MatrixB1_1, B_GESCHOSSTEMP.txt/

*Die Nutzlasten werden mit den Übertragungsfaktoren multipliziert /
object operate, \mul, MatrixB1_1 TEMP1_1,/
object operate, \mul, MatrixB2_1 TEMP2_1,/
object operate, \mul, MatrixB3_1 TEMP3_1,/
object operate, \mul, MatrixB4_1 TEMP4_1,/
object operate, \mul, MatrixB5_1 TEMP5_1,/
object operate, \mul, MatrixB6_1 TEMP6_1,/
object operate, \mul, MatrixB7_1 TEMP7_1,/
object operate, \mul, MatrixB8_1 TEMP8_1,/
object operate, \mul, MatrixB9_1 TEMP9_1,/
object operate, \mul, MatrixB10_1 TEMP10_1,/

linalg lincomb, replace, 10 MatrixB1_1 1.0 MatrixB2_1 1.0
      MatrixB3_1 1.0 MatrixB4_1 1.0 MatrixB5_1 1.0 MatrixB6_1 1.0
      MatrixB7_1 1.0 MatrixB8_1 1.0 MatrixB9_1 1.0
      MatrixB10_1 1.0, 1_GESCHOSS/
output file, text plain , 1_GESCHOSS, 1_GESCHOSS.txt/

* Extremwerte werden ausgesucht /
object create,replace,, Anzahl_der_Jahren/
object read, , Anzahl_der_Jahren 10000,/

object create,replace,, count_jahre/
object create,replace,, count_tage/
object create,replace,, Anzahl_der_Tage/
object read, , Anzahl_der_Tage 365,/
string create,replace, 60,EingabeGeschoss/
string read, , EingabeGeschoss 1_GESCHOSS.txt ,/
input file, replace text plain real matrix,
      EingabeGeschoss 3650000 1, MatrixG1/
object modify, set, count_jahre 0,/
object modify, set, count_tage 0,/
object modify, add, count_tage 1,/
#label next_year
object modify, add, count_jahre 1,/
object extract, part, MatrixG1 count_tage 1 Anzahl_der_Tage 1, TEMPG/
output file, text plain , TEMPG, TEMPG1.txt/
string create,replace, 60,Eingabe/
string read, , Eingabe TEMPG1.txt ,/
input file, replace text plain real vector,
      Eingabe 365, TEMPG1/
object extract, maximum,TEMPG1,max_value min_row /
output file, text plain append, max_value, EXTR1.txt/
output file, text plain append, max_value, EXTR1.LIS/
object modify,add, count_tage Anzahl_der_Tage,/
object delete,, TEMPG,/
object delete,, max_value,/
object delete,, TEMPG1,/
object delete,, min_row,/
control if, integer less, count_jahre Anzahl_der_Jahren next_year,/
control exit,,,/

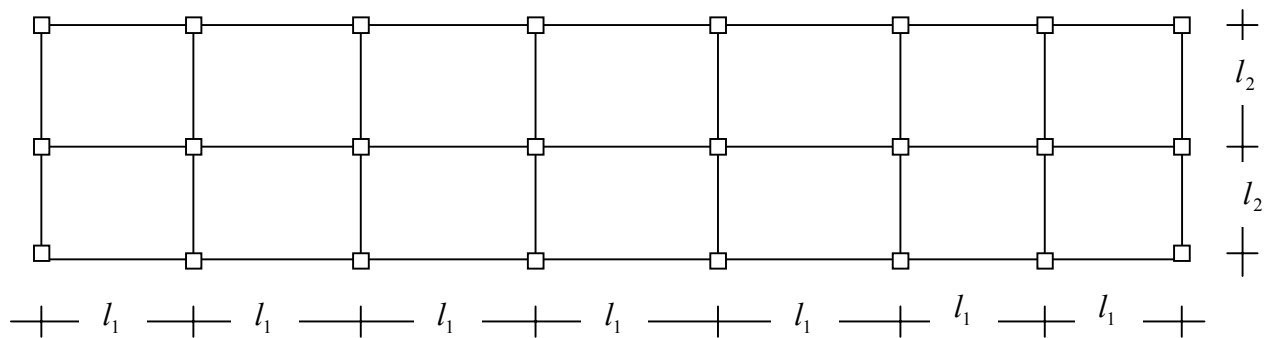
```

Die Datei EXTR1.LIS enthält alle jährliche Extremwerte. Zu diesen 10000 Werte werden schließlich Quantilwerte mit dem Programm STARTREL berechnet.

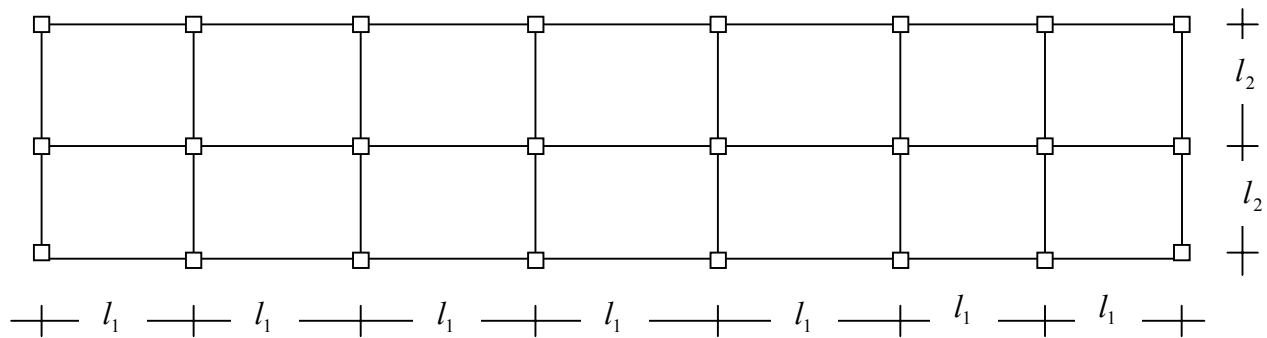
## Anhang 2

### Statische Systeme:

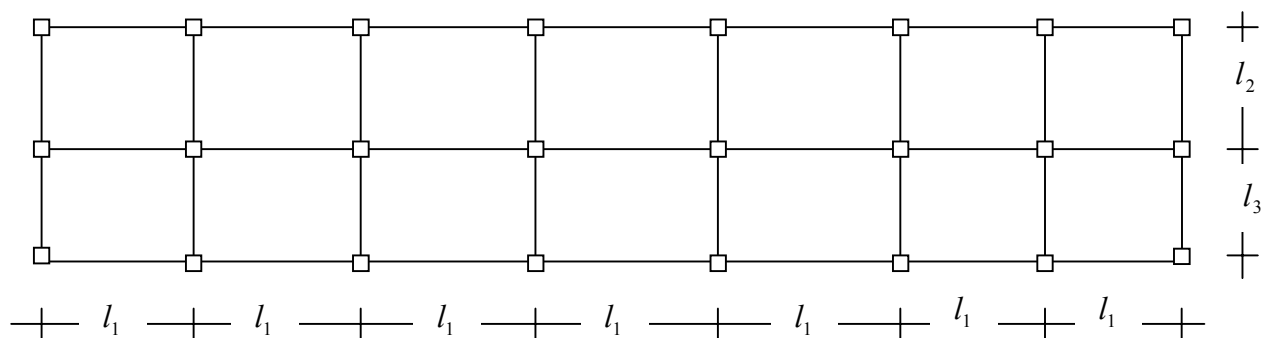
1. System:  $l_1 = 4,8\text{ m}$  ;  $l_2 = 3,6\text{ m}$



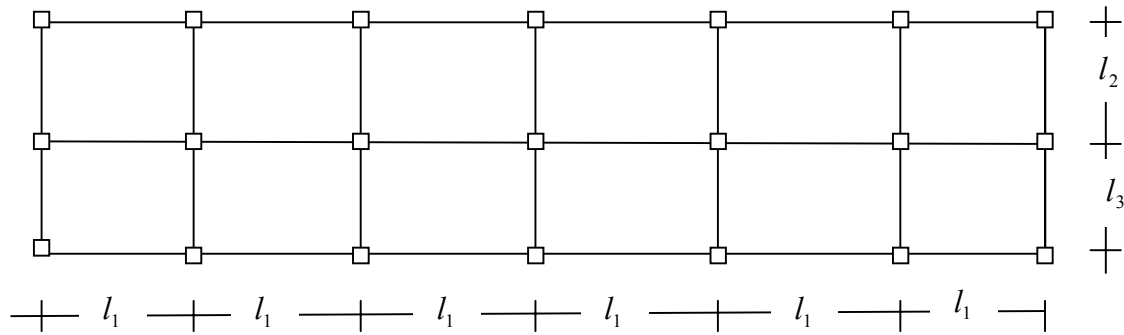
2. System:  $l_1 = 7,2\text{ m}$  ;  $l_2 = 4,8\text{ m}$



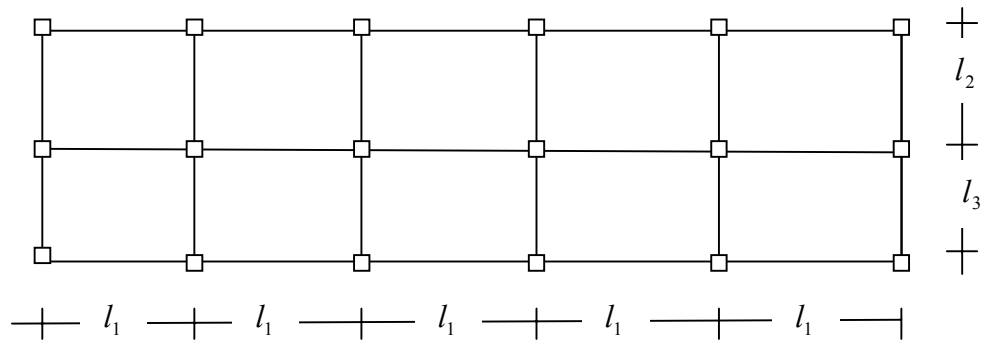
3. System:  $l_1 = 7,2\text{ m}$  ;  $l_2 = 4,8\text{ m}$  ;  $l_3 = 3,6\text{ m}$



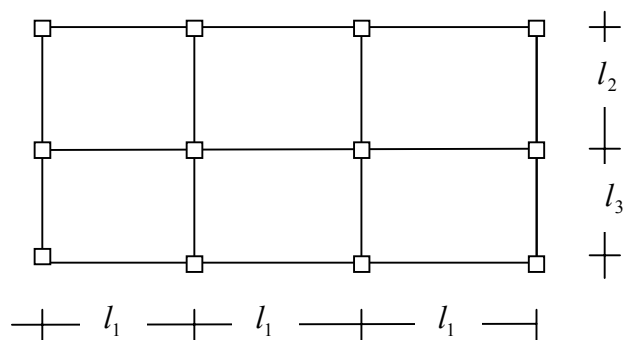
4. System:  $l_1 = 7,2m$  ;  $l_2 = 4,8m$  ;  $l_3 = 3,6m$



5. System:  $l_1 = 7,2m$   $l_2 = 4,8m$   $l_3 = 3,6m$



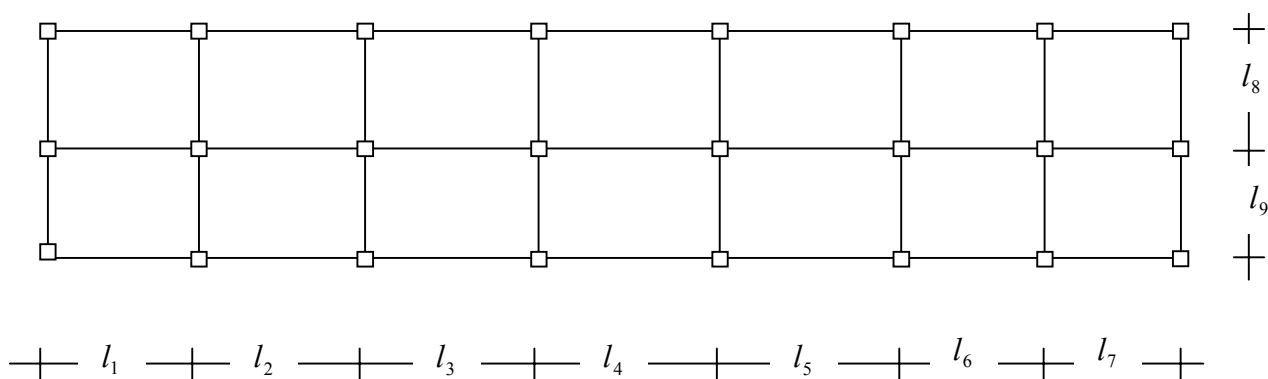
6. System:  $l_1 = 7,2m$   $l_2 = 4,8m$   $l_3 = 3,6m$



7. System:

$$l_1 = 7,2 m; l_2 = 6,0 m; l_3 = 4,8 m; l_4 = 3,6 m; l_5 = 6,0 m; l_6 = 7,2 m; l_7 = 4,8 m$$

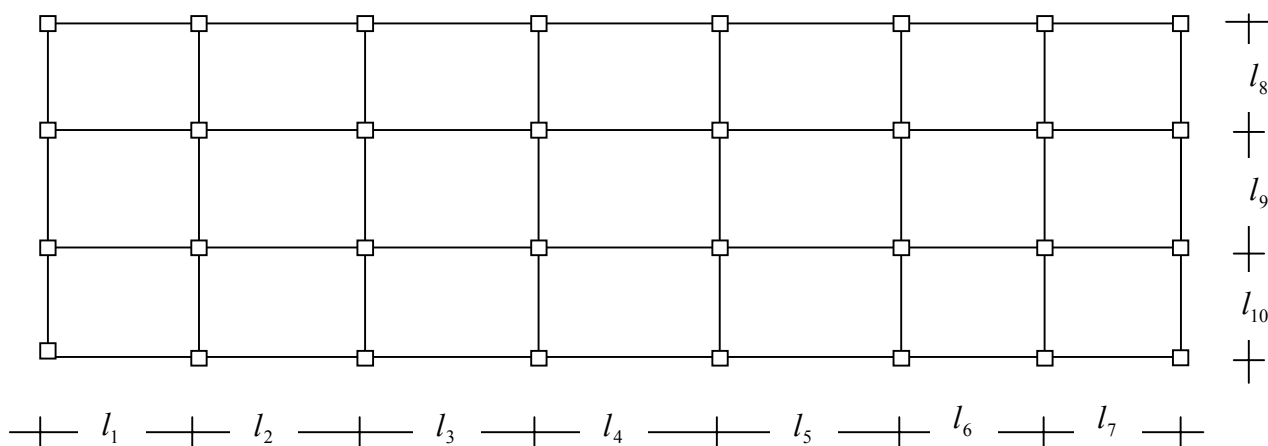
$$l_8 = 4,8 m; l_9 = 3,6 m$$



8. System:

$$l_1 = 7,2 m; l_2 = 6,0 m; l_3 = 4,8 m; l_4 = 3,6 m; l_5 = 6,0 m; l_6 = 7,2 m; l_7 = 4,8 m$$

$$l_8 = 4,8 m; l_9 = 3,6 m; l_{10} = 4,0 m$$



### Anhang 3

Der charakteristische Wert einer Variable wird wie folgt vereinbart:

$$F_k = F(Y; G) \quad (1.0)$$

Der charakteristische Wert  $F_k$  ist eine Funktion der stochastischen Eigenschaften der Zufallsvariablen  $Y$  und des Bemessungskriteriums  $G$ .

Für die Stützenlasten wird folgendes Bemessungskriterium angenommen:

Der charakteristische Wert der Stützenlast darf mit der Wahrscheinlichkeit  $P_{\bar{u}}$  nicht überschritten werden.

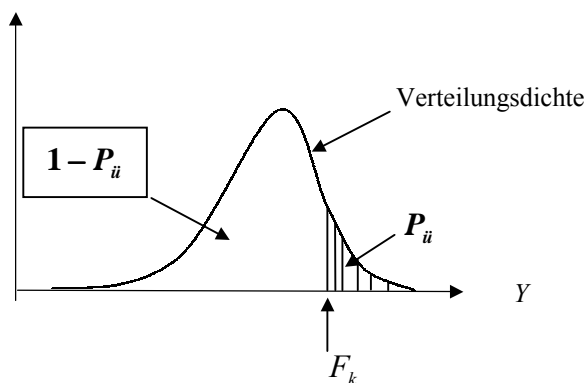


Abbildung 1.1: Charakteristischer Wert

$$F(F_k) = 1 - P_{\bar{u}} \text{ oder } F_k = F^{-1}(1 - P_{\bar{u}}) \quad (1.1)$$

Gegeben seien zwei normalverteilte, unabhängige Lasten  $Y_1$  und  $Y_2$  mit den Parametern  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$ .

Als Bemessungskriterium soll die Überschreitungswahrscheinlichkeit des charakteristischen Wertes der Lastkombination kleiner als  $P_{\bar{u}}$  sein.

Aus der Gleichung (1.1) folgt:

$$F(F_{k_1}) = (1 - P_{ii}) = \Phi\left(\frac{F_{k_1} - \mu_1}{\sigma_1}\right) \quad (1.2)$$

$$F_{k_1} = \Phi^{-1}(1 - P_{ii}) \cdot \sigma_1 + \mu_1 \quad (1.3)$$

$$F_{k_2} = \Phi^{-1}(1 - P_{ii}) \cdot \sigma_2 + \mu_2 \quad (1.4)$$

Für die Summe der Lasten  $Y_1$  und  $Y_2$  gilt:

$$S(Y_1, Y_2) = Y_1 + Y_2 \quad (1.5)$$

$$\mu_S = \mu_{Y_1} + \mu_{Y_2} \quad (1.6)$$

$$\sigma_S = \sqrt{(\sigma_{Y_1}^2 + \sigma_{Y_2}^2)} \quad (1.7)$$

Aus den Gleichungen (1.1), (1.5) und (1.6) folgt:

$$F_{kS} = \Phi^{-1}(1 - P_{ii}) \cdot \sqrt{(\sigma_{Y_1}^2 + \sigma_{Y_2}^2)} + (\mu_{Y_1} + \mu_{Y_2})$$

Es gilt auch  $\sigma_S = \sqrt{(\sigma_{Y_1}^2 + \sigma_{Y_2}^2)} < (\sigma_{Y_1} + \sigma_{Y_2})$

Falls  $\Phi^{-1}(1 - P_{ii}) > 0$ , gilt es:

$$F_{kS} < F_{k_1} + F_{k_2}. \quad (1.8)$$

Die Gleichung (1.8) sagt aus, daß der charakteristische Wert einer Lastkombination kleiner ist als die Summe der charakteristischen Werte. Mit der Kombinationsfaktor  $\psi$  kann die Gleichung (1.8) zu Gleichung (1.9) umgeschrieben werden.

$$F_{kS} = \psi \cdot (F_{k_1} + F_{k_2}) \quad (1.9)$$